

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
RESİM LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.ISASMELT YÖNTEMİYLE BAKIR MATININ ÜRETİM ESASLARI.....	4
2.1 Oksitleyici Kısmi Kavurma.....	4
2.2. Üretim Prosesi İçin Girdiler.....	5
2.3. Teknoloji.....	10
3. TERMODİNAMİK ESASLARI.....	20
4. PROGRAMLAMA.....	29
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	46
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Isasmelt fırını	10
Şekil 2.2 Isasmelt yönteminin akış şeması.....	11
Şekil 2.3 Isasmelt yönteminin akış şeması	13
Şekil 2.4 Boşluk basınç frekans spektrometresi	19
Şekil 4.1 Reaksiyonları başlatmak için kullanılan komut düğmesi.....	31
Şekil 4.2 Kullanıcıdan şarj miktarını girmesinin istendiği komut düğmesi ve şarj miktarının yazıldığı metin kutusu.....	31
Şekil 4.3 Konsantre oranlarının ve miktarlarının gösterildiği komut düğmeleri ve metin kutuları.....	32
Şekil 4.4 Zn'nun oksitlenme reaksiyonunun komut düğmeleri ve metin kutuları.....	33
Şekil 4.5 C'nun oksitlenme ve ZnO in CO ile olan reaksiyonlarının komut düğmeleri ve metin kutuları.....	33
Şekil 4.6(a) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları.....	38
Şekil 4.6(b) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları.....	39
Şekil 4.6(c) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları.....	40
Şekil 4.7 Kömür oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları.....	41
Şekil 4.8 Oksijen miktarını gösteren komut düğmesi ve metin kutusu.....	41
Şekil 4.9 Flaks oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları.....	42
Şekil 4.10 Baca gazı oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları.....	43
Şekil 4.11 Mat oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları.....	43
Şekil 4.12 Sonuç ekranı.....	45

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Isasmelt yöntemini bulan MIM firmasının dünyadaki dağılımı.....	5
Çizelge 2.2 Konsantre analizi.....	7
Çizelge 2.3 Kömür analizi.....	8
Çizelge 2.4 Flaks analizi.....	8
Çizelge 2.5 Isasmelt fırınına ortalama besleme oranları.....	15
Çizelge 2.6 Mat dereceleri.....	15
Çizelge 2.7 Isı dengesi (MW).....	16
Çizelge 2.8 Kömür oranının bir fonksiyonu olarak iki yöntem ile aşırı ısı kaybı değerleri.....	17
Çizelge 2.9 Isasmelt fırını ile tesisi arasındaki kalıntı yayınması.....	17
Çizelge 2.10 Hava üfleme borusu performansı	18
Çizelge 3.1 Reaksiyonların standart serbest enerjileri.....	22
Çizelge3.2 $\text{CuS}_{0.5}\text{-FeS-FeO-FeO}_{1.5}\text{-X}$ sistem matı içerisinde As,Sb,Bi,ZnS ve $\text{FeO-FeO}_{1.5}\text{-SiO}_2\text{-Y}$ cüruf sistemindeki ZnO(s) ve PbO(l) bileşenlerinin aktiviteleri.....	24
Çizelge3.3 1443 ve 1593 K sıcaklıklarında $1.3 < r < 2.1$ değeri için fayalit cürufunun aktiviteleri.....	24

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 2.1 Cyprus Miami Mining Corporation Bakır Isasmelt Tesisinden

Bir Görüntü.....6

Resim 2.2 Sterlite Industries Limited Copper Isasmelt Bakır Ergitme Tesis.....7

ÖNSÖZ

Son yıllarda hızla gelişen bakır üretim teknolojileri içerisinde önemli bir yer tutan isasmelt yönteminin incelendiği bu çalışmada yöntemin termodinamik modellenmesi üzerinde yeni araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar isasmelt yönteminin uygulanabilirliğinde büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Modelleme sayesinde üretim maliyeti azalacak bunun yanında üretim hızı ve kalitesi kayda değer ölçüde artacaktır.

Bu çalışmalar sırasında desteğini esirgemeyen tez danışmanım hocam Prof. Dr. Ahmet Ekerim 'e teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu tezde isasmelt yöntemiyle bakır matı üretmenin örnek bir modellemesi anlatılacaktır. İsasmelt fırını içerisinde gerçekleşen reaksiyonların serbest enerji değişimleri karşılaştırılarak hazırlanan bu model sonucunda elde edilen son metal oranları ve sıcaklık değerleri bu yöntemin uygulanmasında büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu modelleme ile fırın içerisinde azınlıkta bulunan elementlerin çeşitli sıcaklıktaki yayılma davranışları incelenebilecektir.

Anahtar kelimeler: İsasmelt, bakır matı, serbest enerji, modelleme.

ABSTRACT

In this presentation, an example of modelling of isasmelt process for producing copper matte will be presented. By this model which are prepared by comparing the free energy of reactions in isasmelt furnace, the process will be more useful with the final metal composition and temperature values which is achieved by this model. The behavior of minor elements in isasmelt furnace can be observed by this model.

Keywords: Isasmelt, copper matte, free energy, model.

1.GİRİŞ

Doğadaki mevcut bakır yataklarının tenörlerinin gittikçe azalması, ikincil metalürji yolu ile geri dönüşüme, yeterli kaynakların bulunamaması nedenleri ile yüksek arılıkta bakır üretmenin maliyeti giderek artmaktadır. Son zamanlarda bakır üretim için yeni teknolojiler üzerinde yoğun araştırmalar yapılmış, çeşitli gelişmeler sağlanmış, verimlilik yükseltilmiş ve çevre faktörlerine uygunluk sağlanmıştır. Genellikle amaç bakır içindeki kalıntıların arıtılması iken diğer bilimsel ve teknik gelişmeler ve ekolojik dengeler dikkate alınmamaktadır. Doğada mevcut olan ve bakır üretimi için faydalanılabilecek tüm kaynakları yeni yöntemler geliştirerek ergiye giren şarjın bileşimini, proses sürecindeki değişimleri ve proses çıktılarını da denetim altına alarak insanlığın gereksinim duyduğu ve güncel kullanım özelliğini koruyan bakırın üretim değişkenlerinin yeni bir anlayışla belirlenmesi kaçınılmaz bir gerçektir.

Pirometalürjik tekniklerle dünyada bakır üretiminin yaklaşık olarak %90'ı sülfürlü cevherlerden yapılmaktadır. Bu üretimin yeterli arılığı sağlayamadığı ve verimli olmadığı hallerde hidrometalürjik yöntemler kullanılmaktadır, bu yöntemlerin önemi de giderek artırmaktadır. Hidrometalürjik yöntemlerin bakır üretimindeki payının %20'lere çıkacağı tahmin edilmektedir. Hidrometalürjik yöntemin üstünlüğü, sülfür konsantrelerinden hiç SO_2 üretmemesi, buna karşın sülfürlerin suda çözülmesi, böylece oksitlenerek çevre kirliliğine daha az neden olmasıdır. Birçok sülfür konsantreleri demiri de içerir. Demirin uzaklaştırılmasının problemi çinko endüstrisi tarafından ele alınmıştır. Hidrometalürjik yöntemlerde çoğunlukla ara ürün olarak kükürt ve demir elde edilir. Bu problem halen tam olarak bir çözüm bulamamıştır.

Pirometalürjik yöntemlerle bakırın üretimi, reverber fırınlarda ergitme yaparak 1975 lerin sonuna kadar dünyada yaygın olarak kullanılmıştır. Pirometalürjik proses kendi arasında beş ayrı gruba ayrılmaktadır. Bunlardan;

1- Birincisi konsantreyi mata ergitmektir. Bu işlem oksitleyici bir atmosferde 1473 K sıcaklıkta büyük bir fırın içinde gerçekleştirilir. Ergitmenin amacı konsantredeki kükürt ve demiri oksitlemek ve bakırca zenginleştirilmiş matı elde etmek ve cüruftan ayırmaktır.

2- İkincisi ise hızlı ergitme (flash smelting) yöntemidir. Oksitleme reaksiyonları enerji sıcaklığını yükseltmek ve ergitmeyi gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Genellikle sıcaklığı istenen değerlere getirmek için çeşitli yakıtlar kullanılır. Ergiyik mat ve cüruf fırından boşaltılarak dışarıya alınır.

3- Üçüncü işlem konverter işlemidir. Ergitmeden elde edilen mat hava oksidasyonuna tabi tutulur. Konverter işleminin amacı mattan demir ve kükürtü uzaklaştırarak % 99 saflıktaki blister bakırı üretmektir. Daha sonra üretilen blister bakır piro ya da elektro rafinasyona gönderilir.

4- Dördüncü işlem cüruf temizleme işlemidir. Bu işlem elektrik fırınında ya da cüruf konsantrasyon fabrikalarında gerçekleştirilir. Cüruf fırındaki ayrı bir delikten elektrik fırınına alınır. Kömür ve diğer yakıtlar fırının tavanından eklenir. Elektrik fırınından çıkan cüruf ya granül halinde ya da döküm blokları şeklinde biriktirilir. Diğer temizleme yönteminde ise ergiyik cüruf kontrollü olarak su ile soğutulan potalar alınır.

5- Pirometalürjik üretim yönteminin son işlemi rafinasyondur. Ergimiş blister bakır, artık kükürt ve oksijeni uzaklaştırmak için bir anot fırınında arıtmaya tabi tutulur. Arıtılmış bakır anot şekilli kalıplara dökülür.

Daha sonra hızlı ergitmeye benzer birçok yöntem geliştirildi. Bu yöntemlerde de ısıtma ve ergitme için gerekli olan enerji konsantre içindeki kükürtün ve demirin oksitlenmesinden elde edilmiştir. Isasmelt, Noranda, Teniente, Mitsubishi, Vanyukov ve Baiyin yöntemleri aynı olup banyo ergitmesi olarak anılmaktadır. Oksijence zenginleştirilmiş hava karışımı fırına dikey olarak daldırılmış hava üfleme borusu ya da tüyerler tarafından verilmiştir. Noranda yöntemi blister bakır üretmek için düşük kalıntı içeren konsantreleri kullanılmıştır. Bu yöntemdeki asıl amaç yüksek arılıkta mat üreterek sonraki işlemleri azaltmaktır. Tentie yöntemi de Noranda'ya benzerdir. En belirgin farklılık ısı dengesini sağlamak için aralıklarla fırına beslenen mat ve kuru konsantrenin tüyerler tarafından şarj edilmesi böylelikle hiçbir kömür yakıt kullanılmamaktadır. Hava oksidasyonu ile % 99 arılıkta blister bakır elde etmek için matın içindeki kükürt ve demir uzaklaştırıldıktan sonra, piro ya da elektro rafinasyon işlemine gereksinim duyar. Pierce – Smith konverterlerinde ise %90 arılıkta bakır matı bileşimine ve kimyasal reaksiyonların verimliliğine bağlı olarak üretmiştir. Buna rağmen şarj ve boşaltma

sırasında önemli ölçüde SO₂ atmosfere geçişini önlemek için birçok alternatif teknik geliştirilmiştir.

Bunlardan birisi Hoboken konverteri olup geliştirilmiş gaz toplama özelliğine sahiptir. Hızlı konverterde ise katı mat kapalı bir fırında oksijeni zenginleştirilmiş hava ile ergitilir.

Isasmelt yöntemi içindeki Cu,Fe,Si,O ve S gibi ana elementlerin yanında Zn,Pb,As,Sb ve Bi elementlerin davranışlarını termodinamik olarak simule edebilmek için bir model geliştirildi.Bu geliştirilen model saatte 15 ton bakır üreten fırın içindeki elementlerin davranışlarını çok iyi biçimde açıklarken saatte 100 ton bakır üretebilen Isasmelt fırını için optimum ergitme durumlarını proje edebilmek için kullanılmıştır.

Bu çalışmada hızlı ergitme tekniğinin termodinamik ve kinetik parametreleri yakıt, cevher, işletme ve çevre koşullarına göre araştırılacaktır. Cevher, yakıt , yardımcı hammaddeler ve mevcut bir tesiste ulaşılabilir en yüksek nitelikteki bakırın üretilmesi için gerekli model tasarlanacaktır. Tasarım için mevcut bilgisayar yazılımları araştırılarak belirlenecek ve prosese uyumlu hale getirilmesi sağlanacaktır. Çalışmanın asıl amacı; çağın teknik ve teknolojilerine uygun, verimli, kaliteli ve çevreye uyumlu koşulların bulunması, uygulanması ve işletilmesidir.

2.ISASMELT YÖNTEMİYLE BAKIR MATININ ÜRETİM ESASLARI

2.1.OKSİTLEYİCİ KISMİ KAVURMA

Bakır konsantrelerinin mat-curuf ergitmesine hazırlanması maksadıyla yapılan bu ön çalışma, S / Cu oranının ergitmede istenen mat tenörüne varılabilmesi için ayarlanmasının sağlamaktadır. İstenilen S/Cu oranının üzerindeki kükürt katı – gaz reaksiyonu ile yüksek sıcaklıklarda hava vasıtasıyla elimine edilmektedir.

Her ne kadar kavurma esnasında vuku bulan reaksiyonlar çok kompleks olmalarına ve ayrıntılarıyla bilinmemelerine rağmen, cevher veya konsantrelerin anabileskenleri ile vuku bulan reaksiyonlar, metalsülfürlerin piritik kükürtlerinin parçalanma ve elementer kükürdün oksidasyonu ile metalsülfürlerin oksidasyonu olarak basitleştirilebilirler. Teşekkül eden oksitler Fe_2O_3 , Cu_2O ve kısmen CuO şeklindedir. Kavurma esnasında teşekkül eden sülfatlar $800\ ^\circ C$ ye kadar varan kavurma sıcaklıklarında parçalanmaktadır. Kalsine bakırın büyük kısmı sülfür ve birazı oksit, demirin ise bir kısmı sülfür diğer kısmı Fe_2O_3 ve birazı Fe_3O_4 şeklinde bulunmaktadır.

Kavurma reaksiyonunun kinetiği, ateş alma sıcaklığı ile başlayan genel hususları hesaplamaktadır.

Bakır cevherlerinin ana bileşkenleri olan kalkopirit ($CuFeS_2$), pirit (FeS_2) ve pirotin (FeS) minerallerinin 1 ve 2 mm. Boyutlarına göre ateş alma sıcaklıkları farklıdır. Oksidasyon ve teşekkül reaksiyonlarından açığa çıkan ısı, beslenme akımında yüksek kükürt konsantrasyonu bulunduğu şartlarda dışardan ilave lüzum kalmayacak kadar olabilmekte ve kavurma otojen yani kendi kendine yeterli olarak gerçekleşebilmektedir.

Bakır cevherleri ve konsantrelerinin ihtiva ettiği ana bileşkenler pirit(FeS_2),kalkopirit($CuFeS_2$) ve kalkosin (Cu_2S) ile gang minerali olarak kuvars (SiO_2) şeklinde basitleştirilebilir. Oksitleyici kavurmada katı malzeme ile hava teması sonucu (katı – gaz reaksiyonları) oksitler ve sülfatlar teşekkül ederler. Uygulanan sıcaklıklar sülfatların dissosiasyon sıcaklıklarının üzerinde olduğundan parçalanma kalsinede oksitlerin mevcudiyetiyle karakterize edilir. Sisteme gönderilen hava miktarı ve sıcaklıklar ile

malzemenin reaksiyona dahil olma süresi ayarlanmak suretiyle istenen oranda kükürt kalsinede geri kalacak şekilde kısmi bir kavurma gerçekleştirilebilir.

2.2. ÜRETİM PROSESİ İÇİN GİRDİLER

Isasmelt yöntemi ile bakır matının üretimi pirometalürjik bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için seçilecek cevher, katkı maddeleri, fırın, yakıt ve diğer donanımların seçilmesinde tercih edilen esaslar üretimden beklenen özelliklere, üretimin verimliliğine ve işletmenin çevreye olan uyumuna bağlı olarak değişmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde bu yöntemle bakır matı üretimi yapılmakta olup bunlar çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu yöntemin tercih edilmesinin bir çok nedeni olmakla beraber en önemli olanları aşağıda belirtilmiştir.

- Cevher parçası üzerinde çok küçük fırın gazı kayıpları ile çalışır.
- Konverter atık gazlarıyla karışabilen SO₂ konsantrasyonları oluşturabilir.
- Teknoloji küçük çaplardaki deneme çalışmalarında bile 15 ton / sa.’e kadar ergitme hızlarına ulaşılmasına imkan sağlamıştır.
- Diğer bakır ergitme yöntemlerine göre çok daha ucuzdur.

Çizelge 2.1 Isasmelt yöntemini bulan MIM firmasının dünyadaki dağılımı. R.L.Player, (1999), “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

YERLESİM	KURULUŞ YILI	KAPASİTE kt/yıl
Copper Refineries Pty Ltd, Townsville Australia	1978/98	270
Copper Range Company, White Pine, USA	1982	70
Olympic Dam Operations, Roxby Downs, Australia	1988/98	215
Montanwerke Brixlegg, Brixlegg, Austria, 1988	1988	72
Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg, Germany	1989/92	370
IMI Refineries Ltd, Walsall, United Kingdom	1992	49
Cyprus Miami Mining Corporation, Claypool, USA	1994	188
Huttenwerke Kayser AG, Lunen, Germany	1994	176
Atlantic Copper SA, Huelva, Spain	1995	235
Boliden Mineral AB, Skelleftehamn, Sweden	1995/00	210
Union Miniere, Olen, Belgium	1996	300
Sterlite Industries, Silvassa, India	1996	90
PT Smelting Company, Gresik, Indonesia	1998	200
Birla Copper, Baruch, India	1998	100
Port Kembla Copper, Port Kembla, Australia	NYC (1999)	120
Thai Copper Industries Public Co Ltd, Rayong, Thailand	NYC (2000)	165
Swil Limited, Maruch, India	NYC (2000)	50
Hindustan Copper, Khetri, India	NYC (2001)	70
Summary: 18 Licensees 2,950,000 T/y		

Üretim işlemi ile ilgili bir görüntü resim 2.1’de verilmiş olup, önemli bir bakır üreticisi Cyprus Miami Mining Corporation şirketidir. Bakırın Isasmelt yöntemiyle üretildiği diğer bir tesis A.B.D.’de Arizona’da kurulmuştur ve halen faaliyet göstermektedir. Üretim kapasitesi saatte 590,000 tondur. Ergiyiğin hızlı bir şekilde aktarıldığı elektrik fırının gücü 51 MW olup ortalama enerji sarfıyatı yaklaşık 36 MW ‘tır. Cyprus bakır ergitmesini modernize edebilmek için Isasmelt yöntemini seçmiştir.



Resim 2.1 Cyprus Miami Mining Corporation Bakır Isasmelt Tesisinden Bir Görüntü. Wayne Armstrong, (1998), “ The Isa Process and Its Contribution to Electrolytic Copper”.

Isasmelt fırını Kıbrıs konsantresini aynı malzemeleri kullanarak ergitmiştir. Konsantre, flux ve diğer malzemeler direkt olarak fırına beslemektedir. Fırın sıcaklığı hava üfleme borusunun içine enjekte edilen doğalgaz ile kontrol edilir. Bu işlemde Kıbrıs kömürü kullanamamaktadır. İşlem havası % 48 oksijen içerir. Fırın yaklaşık olarak % 60 bakır içeren mat üretir ve cüruf ürünlerini çökertme işlemi için elektrik fırınına alınmaktadır.

Resim 2.2’de görülen bir başka bakır üreticisi olan Sterlite Industries Limited Copper Isasmelt bakır ergitme tesisi Hindistan’ın kuzeyinde Tuticorin’de kurulmuştur ve halen faaliyet göstermektedir. Tesis ithal konsantreleri ergitmek için dizayn edilmiştir. Matta 60,000 t/sa. ergitme kapasitesiyle işleyen tesis gazın ilave oksijenle zenginleştirilmesi suretiyle 100 t/sa. bakır üretmek için planlanmıştır. Tesis Pierce-Smith konverteri, anot fırını ve asit fabrikasını bünyesinde bulundurmaktadır.



Resim 2.2 Sterlite Industries Limited Copper Isasmelt Bakır Ergitme tesisi. Wayne Armstrong, (1998), “ The Isa Process and Its Contribution to Electrolytic Copper”.

Isasmelt yöntemi kullanılırken sülfürlü cevherler tercih edilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanı kalkopirit cevheridir. Kullanılan bu cevherler karışık bir konsantre olarak fırına beslenmektedir. Konsantrenin içinde Fe, SiO₂, CaO, Al₂O₃, MgO ve Fe₃O₄ bileşikleri de bulunmaktadır. Çizelge 2.2’de isasmelt yönteminin uygulandığı bir tesisten elde edilen iki ayrı konsantrenin analizleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Konsantre Analizi. Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting”.

	Konsantre 1	Konsantre 2
Cu	27.3	27.6
Fe	26.7	26.8
SiO ₂	9.4	9.7
CaO	0.6	0.6
S	27.1	26.8
Al ₂ O ₃	0.8	0.8
MgO	1.1	1.2
Fe ₃ O ₄	0.3	0.2

Isasmelt fırını yakıt olarak kömür kullanmaktadır. Çizelge 3'te isasmelt yöntemi için yakıt olarak kullanılan kömürün analizi verilmiştir. Yakıt olarak kullanılan bu kömür yanma sonucu % 14.7 kül oluşturur.

Çizelge 2.3 Kömür Analizi Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting”.

Kömür	
C	% 87.1
H	% 5.09
N	% 2.09
S	% 1.6
O	% 4.3

Isasmelt yönteminde cüruf yapıcı olarak ilave edilen malzeme genel olarak silikadır. Çizelge 4'te isasmelt yönteminde kullanılan silikanın analizi verilmiştir.

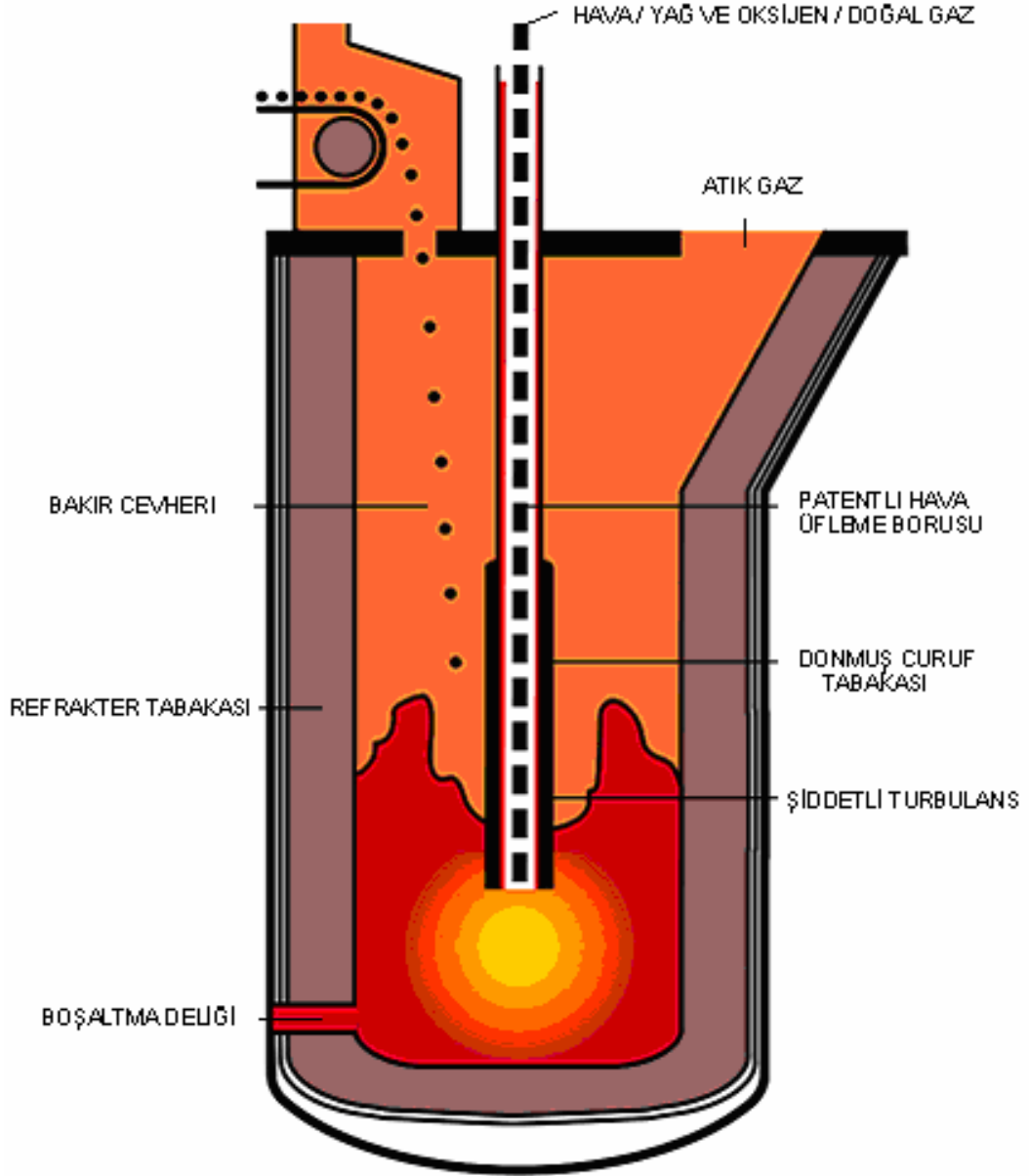
Çizelge 2.4 Flaks Analizi Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting”.

Silika Flaks	
Cu	0.5
Fe	0.7
SiO ₂	91.8
CaO	0.6
S	0.2
Al ₂ O ₃	3.5
MgO	0.2
Fe ₃ O ₄	0.2

Isasmelt yönteminde oksijen gazı da girdilerden birisidir. Hava üfleme borusundan isasmelt fırını içerisine üflenlen havada yaklaşık % 60 oranında oksijen vardır. Bu oksijen bir oksijen tesisi tarafından hazırlanır. Buradan tatbik edilen gaz 36 Nm³/san. olarak belirlenmiştir. Hava üfleme borusundan üflenlen havanın içerisinde oksijen gazının dışında hemen hemen hepsini azot gazı oluşturmaktadır. Geri kalan ise çok düşük oranlarda su buharı ve diğer gazlardır.

Yöntemde önemli bir yer teşkil eden fırını burada ayrı bir girdi olarak ele almak yerinde olacaktır. Şekil 2.1’de gösterilen Isasmelt fırını refrakter kaplı bir fırındır. Bir oksijen üfleme borusu fırının tavanındaki bir delikten ergiyik banyo içine indirilmiştir. Hava soğutmalı boru fırının içindeki saldırgan çevreden ucunda oluşan donmuş cüruf tabaka ile korunur. Boru tamir edilmesi gerektirdiği takdirde kolaylıkla fırından çıkartılabilir. İşlem gazları ve yakıtlar banyo içinde yüksek derecede bir turbalans yaratmak için borunun içine enjekte edilir. Bu yüksek turbalans sayesinde fırının tavanındaki ikinci delikten bırakılan şarj malzemesi çok hızlı bir şekilde çözünür ve reaksiyona girer. Böylelikle yüksek bir ergitme hızı elde edilmiş olur. Ergiyik ürün, fırının tabanına yakın su soğutmalı boşaltma deliğinden akıtılır. Artık gazlar ise fırının çatısından klasik yöntemlerle uzaklaştırılır. R.L.Player, (1999), “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

Fırının yapımı çok basittir. Fırının dikey silindirik şekli refrakter tabakasının kolaylıkla döşenmesini sağlar. Fırının kabuğunu oluşturmak için kullanılan refrakter tuğlalar krom manyazittir. Refrakter malzemenin ömrü ergitilen malzemenin saflığına ve sıcaklık hassasiyetine bağlıdır. Genellikle isasmelt fırınının astar ömrü 12 den 18 aya kadar sürer. Yapılan denemelerde 21 ay gibi bir süre elde edilmiştir.

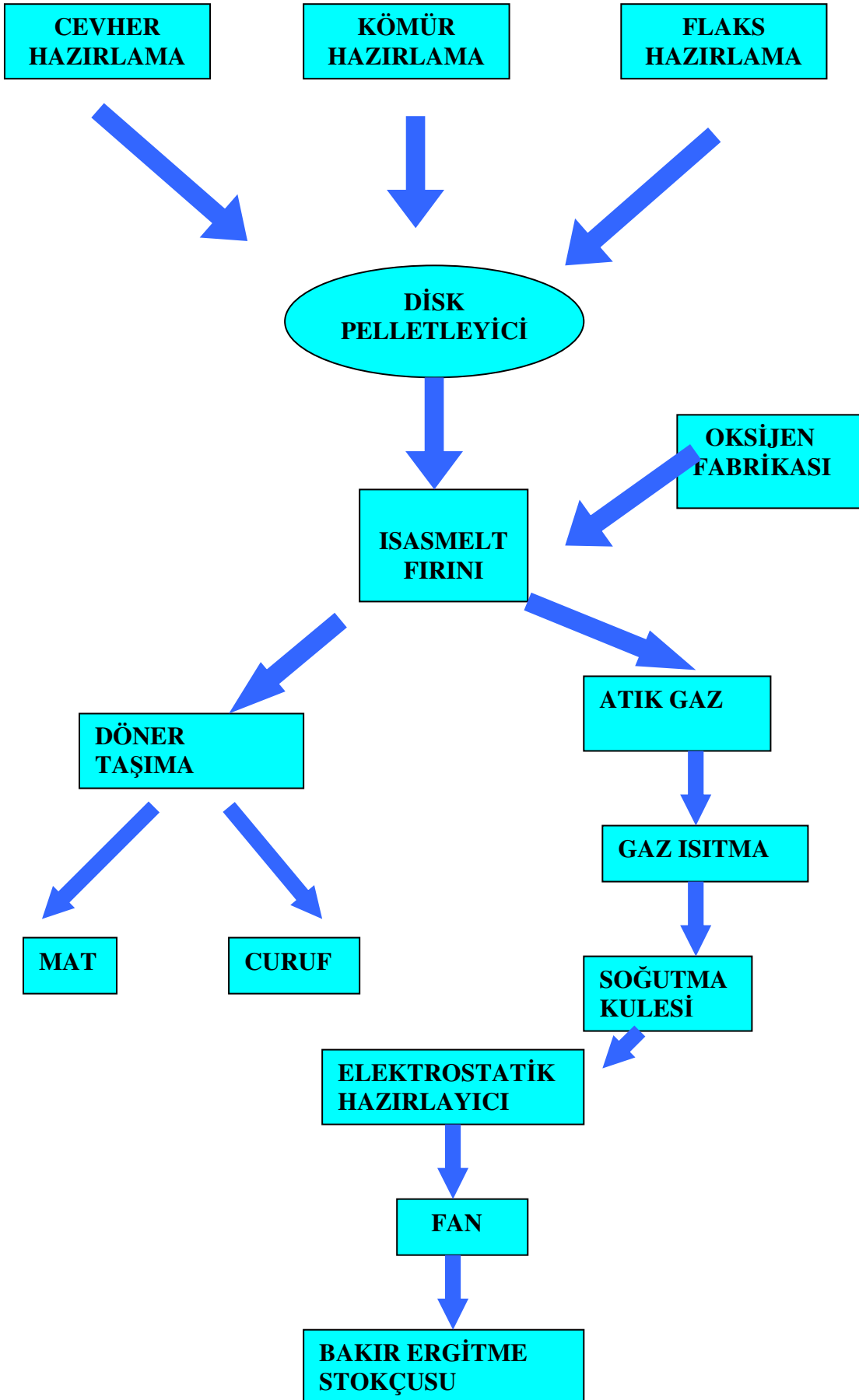


Şekil 2.1 Isasmelt Fırını. R.L.Player, (1999), “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

2.3. TEKNOLOJİ

Isasmelt yöntemi genel olarak çok çeşitli bölümlere ayrılmaktadır. Her bir işlem ayrı bir tesiste gerçekleşmektedir. Isasmelt yöntemiyle bakır matı üretiminin akış şeması şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2.2 Isasmelt yönteminin akış şeması



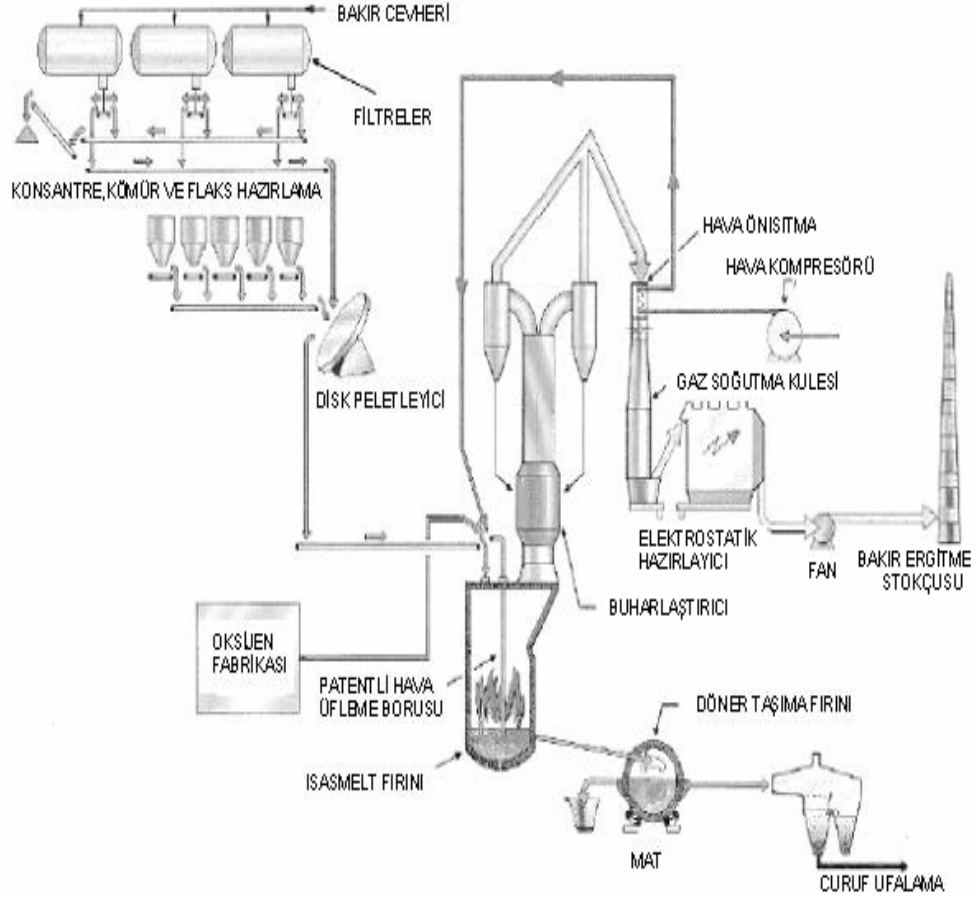
Isasmelt yönteminde kalkopirit cevheri disk peletleyiciye gelmeden önce filtrelerden geçirilerek daha temiz bir şekilde fırına girmesi sağlanır. Diğer taraftan kömür, flaks ve konsantre ayrı bir yerde karıştırılarak karışım halinde peletleyiciye gider. Peletleyiciden çıkan malzeme artık cevher, konsantre, kömür ve flakstan oluşan bileşik bir malzeme olmuştur. Bu malzeme topak halinde fırına beslenir. Oksijen fabrikasında üretilen oksijen de hava üfleme borusundan fırının içine enjekte edilir. Diğer işlem gazları ve yakıtlar da bu boru içerisinde fırına gönderilir. Boru ergiyik banyo içinde daldırılmıştır. Borunun içerisinde enjekte edilen yakıtlar ergiyik banyo içerisinde güçlü bir türbalans yaratır. Bu sayede fırının içerisine beslenen şarj malzemesi hızlı bir şekilde çözülür. Burada bir dizi reaksiyon gerçekleşir. Sonuç olarak elde edilen mat fırının dibindeki bir delikten elektrik fırınına aktarılır. Burada cüruftan ayrıştırılarak mat elde edilir. Atık gazlar ise fırının yukarısından dışarı atılır. R.L.Player, (1999), “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

Isasmelt fırını reverber işlemine göre konsantrenin büyük çoğunluğunu ertir. Isasmelt yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.3’te verilmiştir. Genel olarak çoğu bakır işletmelerinin ortak bir sorunu olan atık gazların uzaklaştırılması isasmelt yönteminde çok kolay bir yöntemle gerçekleştirilir. Gazların ani soğutulmasıyla SO_3 oluşumunu en aza indirilerek düşük oranlarda artık gaz çıkışı sağlanmış olur. Buna rağmen işlemin eski yıllarında buhar kazanı ince cüruf partiküllerinin sirkülasyonu sonucu erozyona uğramaktaydı. Bu problemi çözmek boruları yeniden tasarlayarak erozyon meydana gelebilecek bölgelerde özel bir tabaka oluşturmakla mümkün olmuştur. Buna ilaveten filtreler ve cüruf taneleme sistemi eklenerek işlem daha verimli hale getirilmiştir.

Isasmelt fırınına oksijen sağlayacak fabrika 525 ton günlük oksijen kapasitesine sahip olmalıdır. Isasmelt fırını 100 t/sa konsantre besleme oranında termodinamik dengede oluyor. Alevin içinde direkt olarak ölçülen kalıntı oksijen miktarı %0.2 dir ve bu da oksijen veriminin % 100 olduğunu gösterir. Cüruftaki oksijen kısmi basıncı yaklaşık olarak 5×10^{-9} atm dir. Bu rakam da yaklaşık olarak denge oksijen basıncına eşittir.

Bakır isasmelt fırınında 575 ton günlük oksijen (% 95) kullanılarak elde edilen ortalama oran 100 t/s. Tir. Fabrika sınırları fırın ısı dengesiyle tanımlanmış ve tatbik edilen gaz kapasitesi $36 \text{ Nm}^3/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. Bakır isasmelt fırını kömür yakıtlı bir fırındır ve üfleme borusunda %60 oksijen içerikli bir gaz verilir. Kömür isasmelt fırının çatısından konsantreyle

beraber topak halinde beslenir. Daha sonra kömür ergiğin yüzeyinde yüzer. Kömür yakmak için fırının kapasitesi böylelikle banyo yüzeyiyle sınırlandırılmış olur.



Şekil 2.3 Isasmelt yönteminin akış şeması. R.L.Player, (1999), "Copper Isasmelt – Process Investigations".

Kullanılan oksijenin kapasitesi sadece kurulum kapasitesiyle sınırlandırılmıştır. 150 t/sa. besleme hızlarına ulaşmak için 300 ton günlük oksijen gazı kullanılması gerekmektedir. 100 ton kapasiteli bir vakumlu tank ıasmelt tesisinde mevcuttur. Besleme oranına ait değerler Çizelge 2.5’de verilmiştir. Bu tank sıvı oksijenle doldurulmuştur. Isasmelt yöntemini geliştirmek için yapılan denemelerde tank yaklaşık 300 ton gün oranlarında boşaltılmıştır. Bu her deneme süresini yaklaşık 8 saatle sınırlandırmıştır. Isasmelt fırını için uygun olan oksijen tonajı 895 ton gün dür. Toplam kullanılabilir oksijen miktarı 895 ton gündür. Buna rağmen taşıma fırınında 10 ton gün oksijen kullanılır. İşlem gaz donanımları; flaks kaynatıcı, gaz soğutucu, elektrostatik hazırlayıcı, ID fan ve bacadan oluşmaktadır. Gaz kapasitesi sistem basıncıyla sınırlandırılmıştır.

Isasmelt banyosunda güçlü bir sıcaklık gradyanı yoktur. Üç bölgede eş zamanda ölçülen değer 20°C 'dir. Termodinamik hesaplamalar konsantre besleme hızındaki artışın fırın kapasitesinde zorlamalara sebep olduğunu gösteriyor. Isı ve kütle dengesi hava, oksijen, kömür ve atık gaz kapasitesi ve bileşimini yüksek besleme hızlarında belirlemek için bir termokimyasal sistem yardımıyla sağlanıyor. Tesisin performansını ölçmek için kullanılan model akademik bir takım tarafından geliştirilmiştir.

Karıştırma zamanı 1 dk. tesbit edilmiş olup SO_2 kabarcıklarını durdurmak için geçen reaksiyon süresi 2 dk. dır. Isasmelt fırının besleme oranını % 50 artırıldığında operatörlerin prosesi kontrol etmesi güçleşmektedir. Bu yüzden fırın sıcaklığının manuel olarak girilmesi bunu engeller. Yapılan çalışmalarda 4 sa. 25 dk. İçin 140 – 150 t/sa. besleme hızı elde edilmiştir. Bu rakam 5 sa. 30 dk. İçin 150 t/sa' e çıkmıştır.

Gazdan kaynaklanan verimsizlikler kapasiteyi artırmak için giderilir. Gaz kapasitesi fanın dizaynından dolayı farklı hallerde çalıştığı için artırılır. Santrifüjlü aşırı besleme ve fluxflow kaynatıcısını kullanmak, klasik kaynatıcı kullanmaktan daha az basınçta çalıştığını gösterir.

Gazdaki en büyük basınç düşüşü fluxflow kaynatıcısında yaşanır. Çamur yatağına bağlı olarak fluxflow kaynatıcısındaki yüksek basınç düşüşü işlem gazı ile kaynatıcı tüpler arasındaki ısı transferini sağlamak amacıyla kullanılır. Yüksek oranlı denemeler sırasında kaynatıcıdan çıkan gazın sıcaklığı artırıldı. Bu artış kaynatıcıya beslenen çamur kütlesini azalttı. Bu yüzden kaynatıcının üzerinde basınç düşüşü oldu. Artık gazdaki bu artış kaynatıcıya hasar vermeden uzun süre muhafaza edilemez.

Isasmelt fırınındaki hava akımı artık gazların dışarı atılması için belli bir basınçta tutulur. Yüksek hızlardaki denemelerde atık gaz hacmi fırın besleme oranına bağlı olarak 2 dk.'lık periyotlarda % 25'lik bir dalgalanma gösterir. Besleme kaynağı disk peletleyicidir. Peletleyiciden sonra konveyörün üzerine çeşitli hız donanımları monte edilmiştir. Konveyörün üzerindeki tartıcı değişik hız donanımlarını girmeyi sağlamıştır.

Çizelge 2.5 Isasmelt fırınına ortalama besleme oranları. W.J.Errington, J.S.Edwards, P.Hawkins, (2001), “ Isasmelt Techonolgy – Current Status and Future Development”.

Konsantrel	Konsantre2	Toplam	Silika	Kireçtaşı	Kömür
75.0	75.0	150.0	3.3	4.8	1.9

Mat derecesi ve silika/demir oranı %51.4 ten % 55.5 e çeşitlilik gösterir. Yüksek oranlı denemelerde hedeflenen mat derecesi % 56 bakırdır. Matın derecesi kuru konsantre bileşiminin çeşitliliğine göre değişir. Hesaplanan ve elde edilen mat derecelerindeki farkın çeşitli sebepleri vardır. Bu farkın ilk sebebi hava, oksijen ve konsantre karışımındaki hatalardır. Bundan başka mat için kullanılan çözülme modeli, kömür yanma verimi, cüruf kalıntıları ve konsantrenin oksidasyon sıcaklığı için mat bileşimi düzeltme hesabı yapılmış olup bu değerler aşağıda çizelge 2.6’ da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Mat dereceleri. W.J.Errington, J.S.Edwards, P.Hawkins, (2001), “ Isasmelt Techonolgy – Current Status and Future Development”.

% ortalama mat derecesi	Hesaplanan % ortalama mat derecesi
53.0	50.4
51.4	49.4

Cüruftaki hedeflenen silika / demir oranı 0,85 tir. Fakat denemelerde 0,92 ye değişim göstermiştir. Kuru konsantre bileşimindeki değişimlerden dolayı yapılan denemelerde silika / demir oranı sabit kalmamıştır.

Isasmelt yönteminde yapılan ölçümler sonucu elde edilen Isı dengesinin bir özeti tabo 1’de verilmiştir. Çizelge 2.7’de kömürün yanma ısısı gross calorific değer olarak alınmıştır. Buhar kazanından buhar akışı işlem gazı içerisindeki ısının çoğunun bir ölçüsü olarak kullanılmıştır. Bu yüzden buhar kazanına giren hava buhar kazanı çıkışındaki gaz akış ölçümüyle fırın girişinde hesaplanan işlem gazı arasındaki fark olarak alınmıştır.

Çizelge 2.7 Isı Dengesi (MW) W.J.Errington, J.S.Edwards, P.Hawkins, (2001), “ Isasmelt Techonolgy – Current Status and Future Development”.

İşletim				
	4	5	9	11
<u>Girdiler</u>				
Sülfatlar	44.53	52.80	45.64	45.54
Kömür	25.16	34.25	26.33	29.72
Boru Havası	0.91	0.73	1.98	0.72
FeO oksidasyonu	1.027	1.14	1.41	1.48
TOPLAM	71.63	88.92	75.37	77.46
<u>Çıktılar</u>				
Mat	9.65	11.88	10.99	9.09
Curuf	17.42	21.68	20.20	17.78
Atık gaz	35.85	41.67	38.12	37.24
Çamur	0.02	0.00	0.008	0.006
Karbonat	4.24	4.79	3.87	3.54
Buharlaştırma(H ₂ O)	5.45	6.12	6.29	6.99
Isı	-2.24	-2.41	-2.51	-2.12
Kireç	0.12	0.12	0.12	0.12
Isı kaybı	1.19	1.71	1.35	1.27
Toplam	71.67	85.55	77.43	73.91
Aşırı Isı Girişi	-0.03	3.37	-2.06	3.55

4, 5, 9 ve 11 işletim zamanlarında ısı dengeleriyle ilgili ile tahmin birkaç megawatta dengelendiğini gösteriyor ve bu da fırının hemen hemen kimyasal dengede olduğunu gösteriyor. Buna rağmen fırın çalışırken yapılan gözlemler 2,5 t/sa. Ten daha büyük kömür besleme oranlarında cüruf yüzeyinde yanmamış kalın bir kömür tabakası oluşturur. Bu da yanmanın tamamlanmadığını dengede olmadığını gösterir. W.J.Errington, J.S.Edwards, P.Hawkins, (2001), “ Isasmelt Techonolgy – Current Status and Future Development”.

Isı dengesindeki dengede olmayan yanmanın kanıtı için yapılan testte kömür oranı ve aşırı ısı girişi CSIRO tarafından yazılan CEMIX bilgisayar modelinden hesaplanan aşırı ısı girişiyle beraber çizelge 2.8 de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Kömür oranının bir fonksiyonu olarak iki yöntem ile aşırı ısı kaybı değerleri Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting” .

İşletim Kömür Oranı(t/sa)		Isı Girişi	
		Çizelge III	CHEMIX Modeli
4	3.07	-0.0	2.45
9	3.21	-2.1	-0.33
11	3.63	3.6	3.15
5	4.18	3.4	5.59

fırındaki ısı akışını birkaç megavatla ölçmek çok zor iken yüksek oranda kömür oranlarında aşırı ısı girişinin kayda değer olduğunu varsayarak bu bize oksijenin içindeki yanma için %10'luk kömür enerjisinin kullanılmadığını gösterir.

Fırın için kalıntı yayınması demo tesisten alınan data ile beraber çizelge 2.9 da verilmiştir. Hesaplanan kalıntı yayınması 2 aydan 1 seneye kadar yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle belirlenmiştir. Deneme tesisinde % 24 olan oksijen zenginleştirmesinin ticari tesiste % 42 ye çıktığı görülmüştür. Mattan uzaklaştırılan kurşun, arsenik, antimon ve bizmutun tesirinde bir azalma olmuştur. Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting”.

Çizelge 2.9 Isasmelt fırını ile tüm tesis arasındaki kalıntı yayınması Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting” .

Demo Tesis					Ticari Tesis			
	Mat(%)	Cüruf(%)	İşlem Gazı (%)	Mat/Cüruf	Mat(%)	Cüruf(%)	İşlem Gazı (%)	Mat/Cüruf
Ag	101.14	1.4	-2.8	102	98.5	1.0	0.5	90.00
Au	98.8	0.5	0.7	99.0	98.5	1.0	0.5	90.0
Pb	38.2	9.8	52.0	4.3	56.4	13.7	29.8	3.8
Zn	28.6	55.4	16.0	0.52	32.0	60.0	8.0	0.49
As	6.2	5.1	88.7	1.5	9.3	17.9	72.8	0.50
Co	72.4	28.9	-1.3	2.4	63.0	36.5	0.5	1.6

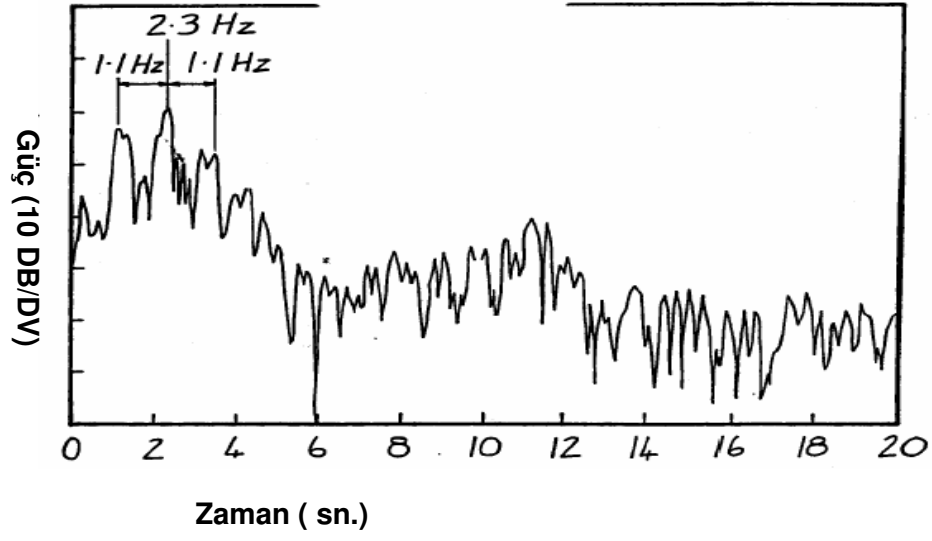
Ni					97.3	2.2	0.5	40.0
Sb	29.3	39.0	31.7	0.8	39.9	51.9	8.1	0.71
Bi	16.4	0.1	83.5	50.0	24.0	1.0	75.0	23.0
Cd					14.9	5.0	80.1	2.8
Tl					39.9	43.7	16.3	0.84
Te					70.8	18.4	10.8	3.6

Çizelge 2.10' da hava üfleme borusunun çalışma parametrelerini göstermektedir. Özetle hava üfleme borusu yaklaşık 520 kPa civarında düşük bir basınçta çalışır ve % 52 oksijen zenginleştirmesine sahiptir. Hava üfleme borusunun çalışma ömrü ucunun tamire gereksinim duymadan önce 2 günden 5 güne kadar değişir. Çoğu hasar besleme durduğu zamandan sonra cüruf banyosu tekrar ısıtırken meydana gelir. Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting” .

Çizelge 2.10 Hava üfleme borusu performansı. R.L.Player, (1999), “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

Max. Gaz akışı	14 Nm ³ /san.
Max.geri basınç	60kPa
Max oksijen	% 52
Normal oksijen	%42
12 Nm ³ /san' de basınç frekansı	2.1 Hz
Çalışma ömrü	2-5 gün
Oksijen verimi	> % 97

Cüruf banyosundan enjekte edilen gaz boşluk yaratır. Boşluk içindeki basınç hava üfleme borusunun içindeki döndürücünün altında borunun ayaklarına monte edilen hızlı basınç güç döndürücü ile ölçülür. Basınç güç döndürücü bir frekans analiz cihazına bağlıdır ve Şekil 4 'te gösterilen veri elde edilir.



Şekil 2.4 Boşluk basınç frekans spektrometresi Port Prie, (1989), “ The Isasmelt Process for Copper Smelting” .

3. TERMODİNAMİK ESASLARI

Kavurma esnasında vuku bulan reaksiyonlar çok yönlüdür ve henüz detaylı olarak bilinmemektedir. Temel reaksiyonlar ise ekzotermik olduklarından çoğunlukla otojen olarak teknolojiye çalıştırılabilmektedir. Vuku bulan reaksiyonlar arasında olayı belirleyebilecek temel değişimler aşağıdaki genel çizelge ile açıklanabilir.

Pirit: 470-570 K civarında

$$\text{FeS}_2(\text{k}) = \text{FeS}(\text{k}) + \frac{1}{2} \text{S}_2(\text{g})$$
 reaksiyonuna göre parçalanır.

Kalkopirit: Termik parçalanma

$$2\text{CuFeS}_2(\text{k}) = \text{Cu}_2\text{S}(\text{k}) + 2\text{FeS}(\text{k}) + \frac{1}{2}\text{S}_2(\text{g})$$
 Sonucu keza elementer kükürt verir.

Kovellin: 631 K den itibaren

$$2\text{CuS}(\text{k}) = \text{Cu}_2\text{S}(\text{k}) + \frac{1}{2} \text{S}_2(\text{g})$$
 Parçalanarak kükürt açığa çıkar. Bu reaksiyonların hepsi endotermiktir. Ve bir ısı harcaması gerektirirler. Bu reaksiyonlardan sonra oksidasyon reaksiyonları gerçekleşmeye ve hepsi ekzoterm olan bu olaylarla kükürt eliminasyonu başlar. Prof. Dr..Fuat Bor, (1989), “Ekstraktif Metalurji Prensipleri”.

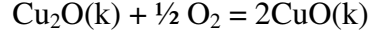
Pirotin: 520-640 K sıcaklıklarda

$$\text{FeS}(\text{k}) + \frac{3}{2} \text{O}_2 = \text{FeO}(\text{k}) + \text{SO}_2$$
 Reaksiyonu ile başlayan oksidasyonda sıcaklığın yükselmesi ile demiroksidil manyetit üzerinden hematite dönüşür. Toplam reaksiyon olarak

$$2\text{FeS}(\text{k}) + \frac{5}{2} \text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{k}) + \text{SO}_2$$
 Belirlenebilir.

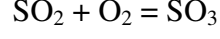
Kalkosin: Hava ile temas sonucu 500 K’ den itibaren

$$\text{Cu}_2\text{S}(\text{k}) + \frac{3}{2} \text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{O}(\text{k}) + \text{SO}_2$$
 Reaksiyonu ile başlayan oksidasyon

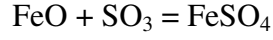
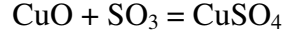


Üzerinden devam eder.

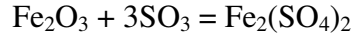
Teşekkül etmiş SO_2 gazı sistemdeki Fe_2O_3 bileşenlerinin katalitik etkisi ile kısmen



haline dönüşür ve bununla birlikte sülfatlanma reaksiyonları başlar.

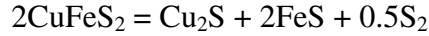


veya

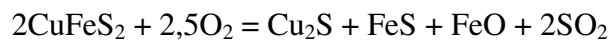


Sülfatlanma reaksiyonlarının oksitler üzerinden değil doğrudan sülfür oksijen arasında vuku bulunduğu da iddia edilmektedir. İnanılan durum kükürt eliminasyonunun oldukça kuvvetli bir şekilde sülfatlanmasıyla bağlantılı bulunduğuudur.

Isasmelt yöntemiyle bakır matı üretiminin termodinamik esaslarını incelediğimizde ilk olarak ele almamız gereken kalkopirit cevherinin ayrışmasıdır. Kalkopirit (CuFeS_2) reverber fırında 1000 K sıcaklığının üzerine ısıtıldığında kükürt elementi ayrışma reaksiyonuna göre serbest kalır.



Serbest kalan kükürt ergiyik banyonun dışındaki hava tarafından oksitlenir ve bu yüzden reverber fırın atmosferi içerisindeki SO_2 kısmi basıncı mat ya da cüruflla ile dengede olmaz. Tüm mat üretme yöntemlerindeki amaç yakıt olarak fazla kükürt kullanarak, oksijeni zenginleştirilmiş hava ile kalkopiritin hızlı oksidasyonunu sağlayarak yüksek dereceli mat elde etmektir. Ergime reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



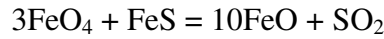
Burada Cu_2S ve FeS matı oluşturuken FeO SiO_2 flaksı tarafından nütürlenerek fayalit cürufunu oluşturur. Oksidasyon reaksiyonu sonucu mat, cüruf ve gaz çok hızlı bir şekilde ve eşit zamanda oluşur. Modern bakır ergitmede ise sadece cüruf-mat reaksiyonu olup, bu reaksiyonlar çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Reaksiyonların standart serbest enerjileri. M.Nagoromi, W.J. Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), “Thermodynamic Similaton Model of the Isasmelt Process for Copper Matte”.

Sayı	Reaksiyon	ΔG_i^0
1	$\text{H}_2(\text{g}) + 0.5\text{S}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{S}(\text{g})$	$-21,580 + 11.805T$
2	$0.5\text{S}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_2$	$-86,620 + 17.31T$
3	$\text{Cu}(\text{s}) + 0.25\text{O}_2(\text{g}) = \text{CuO}_{0.5}(\text{s})$	$-17,490 + 7.21T$
4	$2\text{CuFeS}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{FeS} + 0.5\text{S}_2$	$-85,365 + 5.57T$
5	$\text{Cu}(\text{s}) + 0.25\text{S}_2(\text{g}) = \text{CuO}_{0.5}(\text{s})$	$-17,580 + 5.02T$
6	$\text{Fe}(\gamma) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeO}(\text{s})$	$-54,890 + 10.55T$
7	$\text{Fe}(\gamma) + 0.5\text{S}_2(\text{g}) = \text{FeS}(\text{s})$	$-27,790 + 7.25T$
8	$3\text{FeO}(\text{s}) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k})$	$-96,200 + 40.59T$
9	$3\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k}) + \text{FeS}(\text{s}) = 10\text{FeO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g})$	$174,880 - 101.16$
10	$\text{Pb}(\text{s}) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{PbO}(\text{s})$	$-46,930 + 20.20T$
11	$\text{Pb}(\text{s}) + 0.5\text{S}_2(\text{g}) = \text{PbS}(\text{s})$	$-26,730 + 12.20T$
12	$\text{Zn}(\text{s}) + 0.5\text{S}_2(\text{g}) = \text{ZnS}(\text{k})$	$-63,290 + 23.47T$
13	$\text{Zn}(\text{s}) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{ZnO}(\text{k})$	$-82,490 + 22.67T$
14	$4\text{As}(\text{s}) = \text{As}_4(\text{g})$	$-7,952 - 14.87T$
15	$\text{As}_2(\text{g}) = 0.5\text{As}_4(\text{g})$	$-26,470 + 18.17T$
16	$\text{As}_2(\text{g}) = 2\text{As}(\text{g})$	$92,180 - 27.57T$
17	$0.5\text{As}_2(\text{g}) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{AsO}(\text{g})$	$-9,560 - 2.77T$
18	$\text{As}_2(\text{g}) + 1.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{As}_2\text{O}_3(\text{g})$	$-122,700 + 41.8T$
19	$0.5\text{As}_2(\text{g}) + 0.5\text{S}_2(\text{g}) = \text{AsS}(\text{g})$	$4,350 - 2.66T$
20	$2\text{Sb}(\text{s}) = \text{Sb}_2(\text{g})$	$51,080 - 71.61T + 13.81T\log T$
21	$2\text{Sb}_2(\text{g}) = 2\text{Sb}(\text{g})$	$71,890 - 26.61T$
22	$2\text{Sb}_2(\text{g}) = 0.5\text{Sb}_4(\text{g})$	$-29,940 + 17.84T$

23	$0.5\text{Sb}_2(\text{g})+0.5\text{O}_2=\text{SbO}(\text{g})$	-6,430-2.39T
24	$0.5\text{Sb}_2(\text{g})+0.5\text{S}_2=\text{SbS}(\text{g})$	-1,460-1.88T
25	$\text{Bi}(\text{s})=\text{Bi}(\text{g})$	47,560-43.31T+5.76TlogT
26	$\text{Bi}_2(\text{g})=2\text{Bi}(\text{g})$	48,270-25.27T
27	$0.5\text{Bi}_2(\text{g})+0.5\text{O}_2=\text{BiO}(\text{g})$	2,720-1.78T
28	$0.5\text{Bi}_2(\text{g})+0.5\text{S}_2=\text{BiSg}(\text{g})$	1,460-1.82T
29	$\text{FeS}(\text{s})+1.5\text{O}_2(\text{g})=\text{FeO}+\text{SO}_2(\text{g})$	-113,720+20.61T
30	$\text{CO}(\text{g})+0.5\text{S}_2(\text{g})=\text{COS}(\text{g})$	-22,860+18.7T
31	$\text{H}_2(\text{g})+0.5\text{O}_2(\text{g})=\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-58,900+13.10
32	$\text{CO}(\text{g})+0.5\text{O}_2(\text{g})=\text{CO}_2(\text{g})$	-67,500+20.75T
33	$\text{ZnO}(\text{k})+\text{FeS}(\text{s})=\text{ZnS}(\text{k})+\text{FeO}(\text{l})$	-7,900+4.10T
34	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k})+\text{CO}(\text{g})=3\text{FeO}(\text{s})+\text{CO}_2(\text{g})$	28,700-19.84T
35	$\text{ZnO}(\text{k})+\text{CO}(\text{g})=\text{Zn}(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})$	46,260-45.18T+5.739TlogT
36	$\text{PbO}(\text{s})+\text{CO}(\text{g})=\text{Pb}(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})$	22,750-37.31T+4.504TlogT

Bakır-mat ergitmesindeki mat-cüruf-gaz dengesinin önemini fark ederek bu konu üzerine araştırma yapan ilk kişi olmuştur. Aksoy aşağıdaki dengeye göre matı analiz etmiştir.



$$K_8 = (\alpha_{10\text{FeO}} p_{\text{SO}_2}) / (\alpha_{3\text{Fe}_3\text{O}_4} \alpha_{\text{FeS}})$$

Burada α aktiviteyi ve p ise atm cinsinden kısmi basıncı simgelemektedir. Mat bileşimi FeS aktivitesi tarafından cüruf bileşimi ve oksidasyon derecesi FeO ve Fe_3O_4 'ün aktivitesi tarafından ve gaz fazı da kısmi SO_2 basıncı tarafından tanımlanmıştır. Bu yüzden üç faz da Aksoy eşitliğinde belirtilmiştir. M.Nagoromi, W.J. Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), "Thermodynamic Similaton Model of the Isasmelt Process for Copper Matte".

Kalkopiriti ergitmenin sistemi flaks olarak saf silikayı kullanarak %21 O_2 içeren hava içinde kalkopiriti oksitlemektir. Isı dengesini korumak için curuftaki bakır ve kükürtün çözünürlüğü dikkate alınmaz. Daha sonra sistem yedi çeşit bileşim içerir: $\text{CuS}_{0.5}$, FeS, Fe_3O_4 , SiO_2 , N_2 ve SO_2 . Bunlar birbirlerine altı kütle dengesi ile bağlanmıştır. Çizelge 3.2 ve çizelge 3.3'de gösterilen cüruf aktiviteleri ve mat bileşimi kullanılarak kütle denge eşitliği çözülebilir.

Çizelge 3.2 CuS_{0.5}-FeS-FeO-FeO_{1.5}-X sistem matı içerisinde As, Sb, Bi, ZnS ve FeO-FeO_{1.5}-SiO₂-Y cüruf sistemindeki ZnO(k) ve PbO(s) bileşenlerinin aktiviteleri M.Nagoromi, W.J. Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), “Thermodynamic Similaton Model of the Isasmelt Process for Copper Matte”.

Reaksiyon Aktivite Katsayısı Eşitlik	T=1453 K ‘de γ ve $G_m=51$	Referans
$\ln \gamma_{As(l)}=(2180+3093G)/T$	[2a]	8.3
$\ln \gamma_{As(l)}=(1674+3093G)/T$	[2b]	5.9
$\ln \gamma_{As(l)}=-3570/T$	[2c]	0.086
$\ln \gamma_{Sb(l)}=(4478+3388G)/T$	[2d]	42.9
$\ln \gamma_{Sb(l)}=(4762+3388G)/T$	[2e]	52.1
$\ln \gamma_{Sb(l)}=-1724/T$	[2f]	0.31
$\ln \gamma_{Sb(l)}=810/T$	[2g]	1.75
$\ln \gamma_{Bi(l)}=-3.657+9337/T-(0.863-1066/T)G$	[2h]	15.4
$\ln \gamma_{ZnS(s)}=-2.054+6917/T-(1.522-1032/T)G$	[2i]	11.8
$\ln \gamma_{PbS(l)}=-2.761+2441/T+(0.815-3610/T)G$	[2j]	0.21
$\ln \gamma_{ZnO(s)}=920/T$	[2k]	1.89
$\ln \gamma_{PbO(s)}=-3330/T$	[2l]	0.10

* G_m =mat içerisindeki bakır oranı; $G=(80-G_m)/100$; T=Kelvin cinsinden sıcaklık; [2c] ve [2f] eşitlikleri bakıra doymuş mat için; [2g] isasmelt reaktörü içerisindeki antimonun %17 oranında buharlaşmasıyla elde edilmiştir, PW= M.Nagamori’nin çalışması

Çizelge 3.3 1443 ve 1593 K sıcaklıklarında $1.3 < r < 2.1$ değeri için fayalit cürufunun aktiviteleri. M.Nagoromi, W.J. Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), “Thermodynamic Similaton Model of the Isasmelt Process for Copper Matte”.

$[Fe_3O_4]_{sat}=-0.52+0.94t+(0.667-0.5t)r+(0.74-0.37t)r^2$	[3a]
$\alpha_{FeO}= 0.449+r_0(0.168+0.002t)-[0.584+0.712r_0+0.250(1-r_0)t]M$ $- [1.488(1-r_0)+0.933(1-r_0)t]M^2$	[3b]
$\alpha_{Fe_3O_4}=[0.521+0.386r_0+(0.0076+0.0354r_0)t]M$ $+ [48.4-15.22r_0-(26.14-11.02r_0)t]M$	[3c]

$t = (t - 1473) / 100$	[3d]
$r = [\text{Fe}]_{\text{sl}} / [\text{SiO}_2]_{\text{sl}}$	[3e]
$r_0 = (r - 1.4) / 0.6$	[3f]
$m = [\text{Fe}_3\text{O}_4]_{\text{sl}}$	[3g]
$M = 0.006897 \text{ m}$	[3h]

* $[\text{Fe}_3\text{O}_4]_{\text{sat}}$ Fe_3O_4 'e doymuş cüruf içerisindeki manyetit kütle yüzdesi ve $[\text{X}]_1$ i fazındaki X kütle yüzdesi

%65 bakır içeren mat havayı silika flaksının ağırlığını ayarlayarak elde edilebilir. %65 bakırlı mat elde edebilmek için manyetitin 1473 K sıcaklığındaki aktivitesi 0.81'in üzerinde ya da 1523 K sıcaklığında 0.43'ün üzerinde olmalıdır. Bu yüzden sıcaklık arttığı zaman düşük manyetit konsantrlerinde ve daha az cüruf içeren mat üretilebilir. Aksoy dengesine dayanarak ergime kimyasını $\text{CuS}_{0.5}$ 'in değil FeS aktivitesinin kontrol altında tuttuğunu söyleyebiliriz. Bu yüzden %55 bakırlı mat elde edebilmek için bakır matı kullanmaktansa Fe matı kullanmak zorunludur. Pb ve Zn'nun yokluğunda 75,65 ve 39 yüzdeli bakır matı için mat demiri 4.0, 12.1 ve 33 yüzdeli olmalıdır. M.Nagoromi, W.J. Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), "Thermodynamic Similaton Model of the Isasmelt Process for Copper Matte".

Hızlı ergitme fırınının içinde gerçekleşen reaksiyonların standart serbest enerjileri fonksiyon sıcaklıklarının K olarak alındığı çizelge 3.1'de verilmiştir. As(g), Bi(g) ve As_2O_3 (g) her yeni hesaplama için tekrarlanmıştır. Bakır matı içerisindeki As, Sb, Bi, ZnS ve PbS'in aktivite katsayıları termodinamik hesaplarda çok önemli bir etkidir. S oranının %0.4 artmasıyla S_2 kısmi basıncının 20 kat arttığı bilinmektedir. Roine ve Jalkanen 1473 K sıcaklıkta S oranının yalnızca 0.6 artışıyla As aktivite katsayısının 120 civarlarına ve yine aynı oranda bir S artışıyla Sb aktivite katsayısının 100'lere çıktığını gözlemlemişlerdir. Chaubal ve Nagarami Roine ve Jalkanen'in deneysel çalışmalar sonucu elde ettikleri verilerden yararlanarak $\text{CuS}_{0.5}$ – FeS sistemindeki As ve Bi'un aktivite katsayılarını hesaplamışlardır.

$\text{FeO} - \text{FeO}_{1.5} - \text{SiO}_2$ cürufları için aktivite – bileşim ilişkisi yeniden hesaplanmıştır. $(X)_i$ sembolü X'in sl=cüruf, mt= mat ve c= konsantre içindeki mat yüzdelelerini temsil eder. 1473 K'de CaO'in fayalit ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) içinde çözülmesiyle Fe / SiO_2 oranı düşmektedir. Bu yüzden 1473 K'de SiO_2 ve Fe_3O_4 'ün iki kere doyurulmasıyla, % 10 CaO içeren homojen

curuf içerisindeki Fe / SiO₂ oranı $r=0,9$ kadar olabilir. Fayalite kireç eklendiği zaman FeO'nun aktivitesi değişmeden kalır.

Oksijen – bearing matının kimyasal bileşimi reverber matı ve Fe'e doymuş labaratuvar matının verileri kullanılarak yeniden modellenmiştir. Bu yeni model curuftaki manyetit (Fe₃O₄) bileşiminin etkisini içerdiğinden dolayı gelişmiş bir modeldir. Bu yeni mat bileşiminde 1473 K sıcaklığında $m=1.7$ 'den 12'ye kadar CuS_{0.5} ve FeS aktiviteleri hesaplanmıştır.

Seçilmiş saf Zn, Pb, ZnO, PbO, ZnS ve PbS buhar basınçları hesaplamalarda kullanılmıştır. As, Sb ve Bi'nin curuf,mat ve metalik bakır fazları arasındaki yayılma katsayıları (L) bu hesaplamalardaki değerlerden bazılarıdır. Isı dengesi tüm boşluklardaki entalpiler ile büyük ölçüde basitleştirilmiştir. PbS'in verileri buharlaşma ısısının 174,72 joule olduğu ve PbS'in kaynama noktası olan 1615 K sıcaklığına aittir. Ayrıca ZnS'e ait veriler ZnS'in kaynama sıcaklığı olan ve buharlaşma ısısının 313,89 joule olduğu 2292 K sıcaklığına aittir.

Mat içerisindeki Fe oranının %11 civarında olması istendiği zaman cüruf içerisindeki manyetit oranı yüksek olur. Manyetit bileşiminin artmasıyla fayalit cürufları daha akıcı hale gelir. Cüruftaki yüksek manyetit oranı aynı zamanda fırın içerisinde hızlı bir ergitme olduğunun göstergesidir. Bu yüzden yüksek manyetit cürufllu ergitmenin avantajlı olduğunu söylemek yerinde olur.

Yüksek manyetitli bir ergitme cürufa bakır kaçışında kaçınılmaz bir artışa neden olur. Yüksek manyetitin getirdiği problem fırından çıkan cürufun elektrikli bir fırına taşınmasıyla daha da büyür. Bu karmaşık durum Isasmelt yönteminde kömür parçalarının ya da katı karbonun girişiyle çözüme kavuşur. Bu çözüm bir fırında iki reaksiyon sitesinin doğmasına neden olur. Bunlardan biri kalkopirit konsantresinin hızlı oksidasyon reaksiyonları, diğeri ise manyetit ve bakır için yavaş azaltma reaksiyonlarıdır. Sonuç olarak Isasmelt fırını yüksek tonajlı bir konsantreyi oksitleyip ergiterek orta ya da yüksek dereceli mat üretebilir. Bunun yanında oluşan cüruftaki manyetit ve bakır oranları da düşük olur. Bu teknolojik yenilik iki site model adı altında yeni bir termodinamik similasyon modeli tarafından formalize edilmeye ihtiyaç duyar.

Tek bir fırında reaksiyonları iki site üzerinde kurmanın kavramı daha önce çinko kinetiğini açıklamak için hazırlanmıştı. Çift reaksiyon sisteminin avantajı Tamana hızlı ergitme

yönteminde cüruf banyosuna kömür parçaları ilave ederek yakalanmaya çalışılmıştı. Hasbiuchi kömür ilavesinin manyetit oranını düşürdüğünü (%6.5' tan % 4.3'e), mat sıcaklığını düşürdüğünü (1437 K) ve cürufa bakır azalttığını (% 0.1 Cu) yayınladı.

Isasmelt fırınına şarj edilen kömür ince ve kaba taneler içeriyorsa, bunların yanması kalkopiritin oksitlenme reaksiyonlarının sıcaklığını yükseltir. Kaba kömür taneleri içindeki kararlı karbon oksidasyon reaksiyonları içinde manyetit ve bakıroksit için redüktan olarak rol oynar.

Manyetiti fırının dibine kurma yavaş bir işlem olduğu için birkaç gün sürebilir. Ancak istenmeyen manyetit çökeltilerinden korunmak için hızlı azaltma reaksiyonlarına ihtiyaç yoktur. Gaz redüktant manyetiti azaltmak için kullanmamalıdır. Çünkü bir gaz reaksiyon sitesinde serbestçe difuze olabilir bu da kalkopiritin oksitlenme reaksiyonlarının yavaşlamasına ve dolayısıyla fırının hasar görmesine sebep olabilir. Katı karbonun cüruflla olan reaksiyonu yavaştır. Bu manyetitin çökmesini engellemesi için yeteri kadar hızda olmalıdır.

Bu iki modele göre hızlı reaksiyon sitelerinde uçan AsO(g) ve ZnO(g) gibi oksit gazlarının katı karbonla reaksiyona girmemesi için karbon reaksiyonlarının yanına gelmezler./*

Yüksek manyetiteli($m=18$) bir cürufun kömürle redüksiyon reaksiyonunda manyetit derecesi $m=3$ 'e iner. Redüksiyondan sonra bazı bileşenlerin mol sayıları aşağıdaki gibi değişir.

Reaksiyondan önce= $n_{\text{Fe}}^0, n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^0, n_{\text{ZnO}}^0, n_{\text{PbO}}^0, n_{\text{C}}^0, n_{\text{sill}}^0, n_{\text{lim}}^0, n_{\text{alm}}^0$

Reaksiyondan sonra= $n_{\text{FeO}}, n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}, n_{\text{CO}}, n_{\text{CO}_2}, n_{\text{C}}, n_{\text{Zn(g)}}, n_{\text{Pb(g)}}, n_{\text{sill}}, n_{\text{lim}}=n_{\text{alm}}, n_{\text{ZnO}}(\equiv x), n_{\text{PbO}}(\equiv y)$

Kütle korunum yasasına göre beş tane kütle dengesi oluşur.

Fe dengesi: $n_{\text{Fe}}^0 \equiv n_{\text{FeO}}^0 + 2n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^0 = n_{\text{FeO}} + 2n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$

O dengesi: $n_{\text{Ox}}^0 \equiv n_{\text{FeO}}^0 + 3n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^0 + n_{\text{ZnO}}^0 + n_{\text{PbO}}^0 = n_{\text{FeO}} + 3n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + n_{\text{CO}} + 2n_{\text{CO}_2} + x + y$

C dengesi: $n_{\text{C}}^0 = n_{\text{CO}} + n_{\text{CO}_2}$

Zn dengesi: $n_{\text{ZnO}}^0 = x + n_{\text{Zn}}$

Pb dengesi: $n_{\text{PbO}}^0 = y + n_{\text{Pb}}$

Reaksiyondan önce ve sonra değişen üç tane kütle dengesi vardır. Bunlar SiO_2 , CaO ve Al_2O_3 'tür. Sistem 11 bileşeni ve 8 kütle dengesini içerir.

4. PROGRAMLAMA

Isasmelt yöntemiyle bakır matı üretiminin termodinamik modellemesinde Visual Basic programlama dili kullanılacaktır. Visual Basic, Microsoft tarafından, Basic programlama dili üzerinde geliştirilmiş, olay yönlendirmeli, üst seviye, nesne yönelimli ve görsel bir programlama dilidir. Visual Basic 'yüksek seviyeli' programlandırma dilidir. Visual Basic hala DOS sisteminde istifade olunan BASİC (Beysik) programlandırma dili esasına dayanır. BASİC sözü 'Beginners' Allpurpose Symbolic Instruction Code' ifadesinin kısaltmasıdır.

- DAO, RDO ve ADO yöntemleri ile SQL, MySQL, Microsoft Access, Paradox ve Oracle gibi çeşitli veri tabanlarına bağlanabilir.
- Active-X kontrolleri ve nesneleri yaratalabilir.
- Ascii ve İkili dosya biçemleriyle çalışabilir.
- Nesne yönelimli bir dildir. Sınıflar yaratmak ve daha sonra bunlardan nesne yaratmak mümkündür.
- Windows API çağrısı ve benzeri harici fonksiyon çağrıları yapabilir.
- Programlama dilleri arasında, anlaşılır ve doğal dile yakın sözdizimi ile hızlı fakat güçlü yazılım geliştirilebilir.

Microsoft Visual Basic dilinin değişik türevleri oluşturulmuştur.

- VBA (*Visual Basic for Applications*)
- Microsoft Office gibi, değişik yazılımlar içerisinde çalışabilecek yazılımlar geliştirilmesinde kullanılır.
- VBScript
- Internet Explorer, ASP ve Windows Script Host üstünde Visual Basic betikleri çalıştırılmasında kullanılan türevi.
- Visual Basic.NET
- Visual Basic 6.0 Platformunun varisi olmakla birlikte farklı bir yapıdır ve .NET Framework üzerinde çalışır ve geriye doğru, Visual Basic 6.0 ve öncesi sürüm kodlarla uyumsuzdur.

Yukarıda visual basic' in ne olduğunu tanımladıktan sonra bu tezde neden visual basic'in tercih edildiğini sorgulayacak olursak Visual basic bir Microsoft ürünüdür.Bu yüzden burada yazacağımız programın veritabanları windowsla tamamen uyumlu olacaktır çünkü aynı firma tarafından destekleniyor,bunun gibi birçok Microsoft ürününü vb ile etkinleştirme imkanımız

var örneğin Microsoft access'de yapılan basit öğrenci kayıt programı Visual Basic'den açılıp onu Visual Basic'de daha görsel daha gelişmiş hale getirilebilir. Atlanmaması gereken bir ayrıntı da şu: Visual Basic'de program derlemek birçok dile göre daha kolaydır. Çünkü Visual Basic'de görsellik ön plandadır ve dil olarak da kolaydır. Komut ezberlemek biraz ingilizce bilmek yeterlidir çünkü komutlar genelde ingilizce ya da ingilizce kısaltmaları şeklindedir. Dünya üzerinde 3,5 milyonun üzerinde insan Visual Basic kullanmakta, ayrıca birçok yazılım şirketi de visual basic bilen yazılımcılar aramaktadır.

Visual Basic'i kısaca tanımladıktan sonra programlamaya geçecek olursak Isasmelt fırını içerisinde gerçekleşen reaksiyonların programlamasında ilk olarak fırına giren konsantre tanımlanmalı ve sonucunda kullanılacak olan flaks ve kömür miktarı, oksijen miktarı ve fırından çıkan mat ile baca gazı miktarları elde edilmelidir. Bunlar bir dizi reaksiyonların sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu reaksiyonlar ayrı olarak hesaplatılmalıdır. Her reaksiyondaki bileşenler ayrı ayrı programa tanımlanmalıdır. Reaksiyona giren ve çıkan element ve bileşiklerin mol miktarları ve ağırlıkları her reaksiyon için hesaplatılmalıdır. Bileşenlerin tanımlanmasını gösteren kodlar aşağıdaki gibidir:

'Bileşenlerin tanımlanması

```
zn = 6539 / 100
o = 1599 / 100
o2 = 2 * o
zno = zn + o
c = 12011 / 1000
co = c + o
co2 = c + o2
s = 32066 / 1000
s2 = 2 * s
so2 = s + o2
zns = zn + s
mas = 7492 / 100
aso = mas + o
ass = mas + s
sb = 12176 / 100
sb2 = sb * 2
sbo = sb + o
sbs = sb + s
pb = 2072 / 10
pbo = pb + o
pbs = pb + s
bi = 20898 / 100
bi2 = bi * 2
bio = bi + o
bis = bi + s
cu = 6354 / 100
fe = 5584 / 100
cufes2 = cu + fe + s2
cu2s = 2 * cu + s
```

```

fes = fe + s
fe3o4 = 3 * fe + 2 * o2
feo = fe + o

```

Programı çalıştırmak için bir komut düğmesi belirlenir. Bu komut düğmesi altında bütün kodlar yazılır. Ve bu düğmeye basıldığı zaman reaksiyonlar başlamış olur ve ürünler elde edilir. Komut düğmesi şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Reaksiyonları başlatmak için kullanılan komut düğmesi

İlk olarak reaksiyona giren konsantre miktarı belirlenmelidir. Bunu program kullanıcıdan manuel olarak girmesini istemektedir. Şarj miktarıyla ilgili komut düğmesi ve metin kutusu şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Kullanıcıdan şarj miktarını girmesinin istendiği komut düğmesi ve şarj miktarının yazıldığı metin kutusu

Daha sonra önceden belli olan konsantre oranları yardımıyla her bir bileşenin miktarı giren konsantre miktarına göre hesaplatılır. Konsantre oranlarıyla ilgili komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.3’de gösterilmiştir. Konsantre oranlarının hesaplatılmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

```
'konsantre oranları
```

```

Metin10 = Metin7 * 273 / 1000
Metin15 = Metin7 * 286 / 1000
Metin18 = Metin7 * 141 / 1000
Metin21 = Metin7 * 24 / 1000
Metin24 = Metin7 * 36 / 1000
Metin27 = Metin7 * 47 / 1000
Metin30 = Metin7 * 95 / 1000
Metin33 = Metin7 * 84 / 1000
Metin39 = Metin7 * 6 / 1000

```

Metin40 = Metin7 * 48 / 1000
 Metin43 = Metin7 * 32 / 10000

ALASIM	%	AĞIRLIK (GR)
CuFeS2	27.3	40.950.000,00
Fe3O4	28.6	42.900.000,00
SiO2	14.1	21.150.000,00
CaO	2.4	3.600.000,00
Al2O3	3.6	5.400.000,00
NaO	4.7	7.050.000,00
Pb	9.5	14.250.000,00
Zn	8.4	12.600.000,00
As	0.6	900.000,00
Sb	0.48	720.000,00
Bi	0.32	480.000,00
TOPLAM	100	150.000.000,00

Şekil 4.3 Konsantre oranlarının ve miktarlarının gösterildiği komut düğmeleri ve metin kutuları

Bu aşamadan sonra reaksiyonların tanımlanması başlar. İlk olarak Zn ‘nın oksitlenme reaksiyonu tanımlanır. Burada Zn’nun miktarı konsantre içinde bir önceki aşamada hesaplanan Zn miktarından alınır. Daha sonra mol ve kütle korunum yasasına göre Zn ‘yi oksitleyecek olan O₂ miktarı ve elde edilecek ZnO miktarı hesaplatılır. Bu reaksiyonun komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.4’de verilmiştir. Zn elementinin oksitlenme reaksiyonunun kodları aşağıdaki gibidir:

```
'Zn + 0,5O2 = ZnO
Metin47 = Metin33 / zn
Metin48 = Metin47 / 2
Metin49 = Metin47
Metin50 = Metin47 * zn
Metin51 = Metin48 * o2
Metin52 = Metin49 * zno
```

	Zn	+	0.5O2	=	ZnO
MOL	192.690,01		96.345,01		192.690,01
GR	12.600.000,00		3.081.113,32		15.681.113,32

Şekil 4.4 Zn'nun oksitlenme reaksiyonunun komut düğmeleri ve metin kutuları

İkinci reaksiyon ZnO' in CO ile reaksiyona girerek Zn ve CO₂ oluşturmaktadır. Burada ZnO miktarı bir önceki reaksiyondan alınır. Bu reaksiyon için gerekli olan CO miktarı belli olduktan sonra C'nun oksitlenme reaksiyonu tanımlanır. Bu defa tersten gidilerek bir önceki reaksiyonda kullanılan CO miktarı bu reaksiyonun ürünü olarak alınır. Ve böylelikle harcanacak olan C miktarı hesaplanmış olur. Bu iki reaksiyonun komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.5'de gösterilmiştir. ZnO ile CO'nun yapmış olduğu reaksiyonun ve C elementinin oksitlenme reaksiyonunun kodları aşağıdaki gibidir:

```
'ZnO + CO = Zn + CO
Metin76 = Metin49
Metin77 = Metin76
Metin78 = Metin76
Metin79 = Metin76
Metin80 = Metin76 * zno
Metin81 = Metin77 * co
Metin82 = Metin78 * zn
Metin83 = Metin79 * co2
'C + 0,5O2 = CO
Metin63 = Metin77
Metin62 = Metin63 / 2
Metin61 = Metin63
Metin64 = Metin61 * c
Metin65 = Metin62 * o2
Metin66 = Metin63 * co
```

	C	+	0.5O2	=	CO
MOL	192.690,01		96.345,01		192.690,01
GR	2.314.399,76		3.081.113,32		5.395.513,08

	ZnO	+	CO	=	Zn	+	CO2
MOL	192.690,01		192.690,01		192.690,01		192.690,01
GR	15.681.113,32		5.395.513,08		12.600.000,00		8.476.626,40

Şekil 4.5 C'nun oksitlenme ve ZnO' in CO ile olan reaksiyonlarının komut düğmeleri ve metin kutuları

Bu esaslara göre tüm reaksiyonlar ayrı ayrı tanımlanır. Tüm reaksiyonların komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 10(a), 10(b) ve 10(c)'de gösterilmiştir. Isasmelt fırını içerisinde gerçekleşen diğer reaksiyonların kodları aşağıdaki gibidir:

```
'Zn + 0,5S2 = ZnS
Metin93 = Metin78
Metin94 = Metin93 / 2
Metin95 = Metin93
Metin96 = Metin93 * zn
Metin97 = Metin94 * s
Metin98 = Metin95 * zns

'ZnS + O2 = Zn + SO2
Metin227 = Metin95
Metin228 = Metin227
Metin229 = Metin228
Metin230 = Metin229
Metin231 = Metin227 * zns
Metin232 = Metin228 * o2
Metin233 = Metin229 * zn
Metin234 = Metin230 * so2

'2As = As2
Metin105 = Metin39
Metin102 = Metin105 / mas
Metin104 = Metin102 / 2
Metin107 = Metin104 * 2 * mas

'0,5As2 + 0,5O2 = AsO
Metin114 = Metin107
Metin111 = Metin114 / (mas * 2)
Metin112 = Metin111
Metin113 = Metin112 * 2
Metin115 = Metin112 * o2
Metin116 = Metin113 * aso

'AsO + 0,5O2 = As + SO2
Metin120 = Metin113
Metin121 = Metin120 / 2
Metin122 = Metin121
Metin123 = Metin122
Metin124 = Metin120 * aso
Metin125 = Metin121 * o2
Metin126 = Metin122 * mas
Metin127 = Metin123 * o2

'As + 0,5S2 = AsS
Metin131 = Metin122
Metin132 = Metin131 / 2
Metin133 = Metin131
Metin134 = Metin131 * mas
Metin135 = Metin132 * s2
Metin136 = Metin133 * ass

'AsS + O2 = As + SO2
Metin140 = Metin133
Metin141 = Metin140
Metin142 = Metin141
Metin143 = Metin142
Metin144 = Metin140 * ass
```

```

Metin145 = Metin141 * o2
Metin146 = Metin142 * mas
Metin147 = Metin143 * so2

```

```

'Sb = 0,5Sb2
Metin153 = Metin40
Metin151 = Metin153 / sb
Metin152 = Metin151 / 2
Metin154 = Metin152 * sb2

```

```

'0,5Sb2 + 0,5O2 = SbO
Metin158 = Metin152
Metin159 = Metin158
Metin160 = Metin158 * 2
Metin161 = Metin158 * sb2
Metin162 = Metin159 * o2
Metin163 = Metin160 * sbo

```

```

'SbO + 0,5O2 = Sb + O2
Metin167 = Metin160
Metin168 = Metin167 / 2
Metin169 = Metin168 * 2
Metin170 = Metin169
Metin171 = Metin167 * sbo
Metin172 = Metin168 * o2
Metin173 = Metin169 * sb
Metin174 = Metin170 * o2

```

```

'Sb + 0,5S2 = Sbs
Metin178 = Metin169
Metin179 = Metin178 / 2
Metin180 = Metin179 * 2
Metin181 = Metin178 * sb
Metin182 = Metin179 * s2
Metin183 = Metin180 * sbs

```

```

'Sbs + O2 = Sb + SO2
Metin187 = Metin180
Metin188 = Metin187
Metin189 = Metin188
Metin190 = Metin189
Metin191 = Metin187 * sbs
Metin192 = Metin188 * o2
Metin193 = Metin189 * sb
Metin194 = Metin190 * so2

```

```

'Pb + 0,5O2 = PbO
Metin201 = Metin30
Metin198 = Metin201 / pb
Metin199 = Metin198 / 2
Metin200 = Metin199 * 2
Metin202 = Metin199 * o2
Metin203 = Metin200 * pbo

```

```

'PbO + CO = Pb + CO2
Metin216 = Metin200
Metin217 = Metin216
Metin218 = Metin217
Metin219 = Metin218
Metin220 = Metin216 * pbo
Metin221 = Metin217 * co
Metin222 = Metin218 * pb
Metin223 = Metin219 * co2

```

```

'C + 0,5O2 = CO
Metin209 = Metin217
Metin208 = Metin209 / 2
Metin207 = Metin208 * 2
Metin210 = Metin207 * c
Metin211 = Metin208 * o2
Metin212 = Metin209 * co

'Pb + 0,5S2 = PbS
Metin238 = Metin218
Metin239 = Metin238 / 2
Metin240 = Metin239 * 2
Metin241 = Metin238 * pb
Metin242 = Metin239 * s2
Metin243 = Metin240 * pbs

'PbS + O2 = Pb + SO2
Metin247 = Metin240
Metin248 = Metin247
Metin249 = Metin248
Metin250 = Metin249
Metin251 = Metin247 * pbs
Metin252 = Metin248 * o2
Metin253 = Metin249 * pb
Metin254 = Metin250 * so2

'0,5Bi2 = Bi
Metin260 = Metin43
Metin258 = Metin260 / bi2
Metin259 = Metin258 * 2
Metin261 = Metin259 * bi

'Bi + 0,5O2 = BiO
Metin265 = Metin259
Metin266 = Metin265 / 2
Metin267 = Metin266 * 2
Metin268 = Metin265 * bi
Metin269 = Metin266 * o2
Metin270 = Metin267 * bio

'BiO + 0,5O2 = Bi + O2
Metin274 = Metin267
Metin275 = Metin274 / 2
Metin276 = Metin275 * 2
Metin277 = Metin276
Metin278 = Metin274 * bio
Metin279 = Metin275 * o2
Metin280 = Metin276 * bi
Metin281 = Metin277 * o2

'Bi + 0,5S2 = BiS
Metin285 = Metin276
Metin286 = Metin285 / 2
Metin287 = Metin286 * 2
Metin288 = Metin285 * bi
Metin289 = Metin286 * s2
Metin290 = Metin287 * bis

'2CuFeS2 = Cu2S + 2FeS + 0,5S2
Metin298 = Metin10
Metin294 = Metin298 / cufes2
Metin295 = Metin294 / 2
Metin296 = Metin295 * 2

```

```

Metin297 = Metin296 / 4
Metin299 = Metin295 * cu2s
Metin300 = Metin296 * fes
Metin301 = Metin297 * s2

```

```

'3Fe3O4 + FeS = 10FeO + SO2
Metin309 = Metin15
Metin305 = Metin309 / fe3o4
Metin306 = Metin305 / 3
Metin307 = Metin306 * 10
Metin308 = Metin307 / 10
Metin310 = Metin306 * fes
Metin311 = Metin307 * feo
Metin312 = Metin308 * so2

```

```

'3FeO + 0,5O2 = Fe3O4
Metin316 = Metin307
Metin317 = Metin316 / 6
Metin318 = Metin317 * 2
Metin319 = Metin316 * feo
Metin320 = Metin317 * o2
Metin321 = Metin318 * fe3o4

```

```

'Fe3O4 + CO = 3FeO + CO2
Metin334 = Metin318
Metin335 = Metin334
Metin336 = Metin335 * 3
Metin337 = Metin336 / 3
Metin338 = Metin334 * fe3o4
Metin339 = Metin335 * co
Metin340 = Metin336 * feo
Metin341 = Metin337 * co2

```

```

'C + 0,5O2 = CO
Metin327 = Metin335
Metin326 = Metin327 / 2
Metin325 = Metin326 * 2
Metin328 = Metin325 * c
Metin329 = Metin326 * o2
Metin330 = Metin327 * co

```

```

'Cu2S + O2 = 2Cu + SO2
Metin345 = Metin295
Metin346 = Metin345
Metin347 = Metin346 * 2
Metin348 = Metin347 / 2
Metin349 = Metin345 * cu2s
Metin350 = Metin346 * o2
Metin351 = Metin347 * cu
Metin352 = Metin348 * so2

```

	Zn + 0.5O2 = ZnO		
MOL	192.690,01	96.345,01	192.690,01
GR	12.600.000,00	3.081.113,32	15.681.113,32
	C + 0.5O2 = CO		
MOL	192.690,01	96.345,01	192.690,01
GR	2.314.399,76	3.081.113,32	5.395.513,08
	ZnO + CO = Zn + CO2		
MOL	192.690,01	192.690,01	192.690,01
GR	15.681.113,32	5.395.513,08	12.600.000,00
	Zn + 0.5S2 = ZnS		
MOL	192.690,01	96.345,01	192.690,01
GR	12.600.000,00	6.178.797,98	18.778.797,98
	ZnS + O2 = Zn + SO2		
MOL	192.690,01	192.690,01	192.690,01
GR	18.778.797,98	6.162.226,64	12.600.000,00
	2As = As2		
MOL	12.012,81		6.006,41
GR	900.000,00		900.000,00
	0.5As2 + 0.5O2 = AsO		
MOL	6.006,41	6.006,41	12.012,81
GR	900.000,00	192.084,89	1.092.084,89
	AsO + 0.5O2 = As + O2		
MOL	12.012,81	6.006,41	6.006,41
GR	1.092.084,89	192.084,89	450.000,00
	As + 0.5S2 = AsS		
MOL	6.006,41	3.003,20	6.006,41
GR	450.000,00	192.601,44	642.601,44
	AsS + O2 = As + SO2		
MOL	6.006,41	6.006,41	6.006,41
GR	642.601,44	192.084,89	450.000,00
	Sb = 0.5Sb2		
MOL	5.913,27		2.956,64
GR	720.000,00		720.000,00

Şekil 4.6(a) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları

	Sb = 0.5Sb2			
MOL	5.913,27		2.956,64	
GR	720.000,00		720.000,00	
	0.5Sb2 + 0.5O2 = SbO			
MOL	2.956,64	2.956,64	5.913,27	
GR	720.000,00	94.553,22	814.553,22	
	SbO + 0.5O2 = Sb + O2			
MOL	5.913,27	2.956,64	5.913,27	5.913,27
GR	814.553,22	94.553,22	720.000,00	189.106,44
	Sb + 0.5S2 = SbS			
MOL	5.913,27	2.956,64	5.913,27	
GR	720.000,00	189.614,98	909.614,98	
	Pb + 0.5O2 = PbO			
MOL	68.774,13	34.387,07	68.774,13	
GR	14.250.000,00	1.099.698,36	15.349.698,36	
	C + 0.5O2 = CO			
MOL	68.774,13	34.387,07	68.774,13	
GR	826.046,09	1.099.698,36	1.925.744,45	
	PbO + CO = Pb + CO2			
MOL	68.774,13	68.774,13	68.774,13	68.774,13
GR	15.349.698,36	1.925.744,45	14.250.000,00	3.025.442,81
	Pb + 0.5S2 = PbS			
MOL	68.774,13	34.387,07	68.774,13	
GR	14.250.000,00	2.205.311,29	16.455.311,29	
	PbS + O2 = Pb + SO2			
MOL	68.774,13	68.774,13	68.774,13	68.774,13
GR	16.455.311,29	2.199.396,72	14.250.000,00	4.404.708,01
	0.5Bi2 = Bi			
MOL	1.148,44		2.296,87	
GR	480.000,00		480.000,00	

Şekil 4.6(b) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları

	Bi + 0.5O2 = BiO			
MOL	2.296,87	1.148,44	2.296,87	
GR	480.000,00	36.726,96	516.726,96	
	BiO + 0.5O2 = Bi + O2			
MOL	2.296,87	1.148,44	2.296,87	2.296,87
GR	516.726,96	36.726,96	480.000,00	73.453,92
	Bi + 0.5S2 = BiS			
MOL	2.296,87	1.148,44	2.296,87	
GR	480.000,00	73.651,45	553.651,45	
	2CuFeS2 = Cu2S + 2FeS + 0.5S2			
MOL	223.146,17	111.573,09	223.146,17	55.786,54
GR	40.950.000,00	17.756.410,21	19.615.887,24	3.577.702,55
	3Fe3O4 + FeS = 10FeO + SO2			
MOL	185.329,19	61.776,40	617.763,95	61.776,40
GR	42.900.000,00	5.430.515,81	44.373.984,79	3.956.531,02
	3FeO + 0.5O2 = Fe3O4			
MOL	617.763,95	102.960,66	205.921,32	
GR	44.373.984,79	3.292.681,87	47.666.666,67	
	C + 0.5O2 = CO			
MOL	205.921,32	102.960,66	205.921,32	
GR	2.473.320,95	3.292.681,87	5.766.002,82	
	Fe3O4 + CO = 3FeO + CO2			
MOL	205.921,32	205.921,32	617.763,95	205.921,32
GR	47.666.666,67	5.766.002,82	44.373.984,79	9.058.684,70
	Cu2S + O2 = 2Cu + SO2			
MOL	111.573,09	111.573,09	223.146,17	111.573,09
GR	17.756.410,21	3.568.107,26	14.178.707,66	7.145.809,81

Şekil 4.6(c) Tüm reaksiyonların komut düğmelerin ve metin kutuları

Reaksiyonlar bittikten sonra yakıt olarak kullanılacak olan kömür miktarı hesaplanır. bunun için reaksiyonlarda kullanılan toplam C miktarı hesaplanır. C miktarı belli olduktan sonra analizi belli olan kömürün bileşenlerinin miktarları C baz alınarak hesaplanır. Kömür oranları ve miktarıyla ilgili komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.7’de gösterilmiştir. Kömür oranlarının ve miktarlarının hesaplanmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

'Kömür oranları

Metin357 = Metin64 + Metin210 + Metin328

bc = 871 / 10

bh = 509 / 100

bn = 209 / 100

bs = 16 / 10

bo = 43 / 10

Metin360 = (Metin357 * bh) / bc

Metin363 = Metin357 * bn / bc

Metin366 = Metin357 * bs / bc

Metin369 = Metin357 * bo / bc

Metin375 = Metin357 + Metin360 + Metin363 + Metin366 + Metin369

KÖMÜR	%	AĞIRLIK (GR)
C	87.1	5.613.766,80
H	5.09	328.060,54
N	2.09	134.704,62
S	1.6	103.123,16
O	4.3	277.143,48
TOPLAM	100	6.456.798,59

Şekil 4.7 Kömür oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları

Daha sonra O₂ miktarı hesaplanır. Bunun için yanma reaksiyonları sonucu harcanan toplam oksijen miktarı bulunur. Bulunan bu miktar m³ cinsinden hesaplanır. Oksijen miktarını gösteren komut düğmesi ve metin kutusu şekil 4.8’de gösterilmiştir. Oksijen miktarının hesaplanmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

'O2 miktarının hesaplanması

Metin382 = (Metin51 + Metin65 + Metin232 + Metin115 + Metin125 + Metin145 + Metin162 + Metin172 + Metin192 + Metin202 + Metin211 + Metin252 + Metin269 + Metin279 + Metin329 + Metin350) * (224 / 100000) / 32

O2 (m3)	1.722,84
---------	----------

Şekil 4.8 Oksijen miktarını gösteren komut düğmesi ve metin kutusu

Oksijen miktarının belirlenmesinden sonra flaks miktarları hesaplanır. bunun için konsantre içerisindeki SiO₂ miktarı baz alınır. Buradaki miktar otomatik olarak flaks içindeki SiO₂ nin ağırlığı olarak tanımlanır. Ve bileşimi belli olan flaks miktarı buna göre hesaplanır. Flaks

oranları ve miktarlarıyla ilgili komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Flaks oranlarının ve miktarlarının hesaplanmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

'Flaks oranlarının hesaplanması

Metin390 = Metin18

Metin393 = (Metin390 * 6 / 10) / (918 / 10)

Metin384 = (Metin390 * 5 / 10) / (918 / 10)

Metin387 = (Metin390 * 7 / 10) / (918 / 10)

Metin396 = (Metin390 * 2 / 10) / (918 / 10)

Metin402 = (Metin390 * 35 / 10) / (918 / 10)

Metin405 = (Metin390 * 6 / 10) / (918 / 10)

Metin408 = (Metin390 * 2 / 10) / (918 / 10)

Metin411 = Metin384 + Metin387 + Metin390 + Metin393 + Metin396 + Metin402
+ Metin405 + Metin408

FLAKS	%	AĞIRLIK (GR)
Cu	0.5	115.196,08
Fe	0.7	161.274,51
SiO2	91.8	21.150.000,00
CaO	0.6	138.235,29
S	0.2	46.078,43
Al2O3	3.5	806.372,55
MqO	0.6	138.235,29
Fe3O4	0.2	46.078,43
TOPLAM	100	22.601.470,59

Şekil 4.9 Flaks oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları

Baca gazının hesaplanması için reaksiyonlar sonucu açığa çıkan CO, SO₂, O₂ ve BiS gazları ayrı ayrı toplatılarak miktarları belirlenir. Baca gazı ve oranlarıyla ilgili komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.10’da gösterilmiştir. Baca gazlarının oranlarının hesaplanmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

'Baca gazı oranlarının hesaplanması

Metin418 = Metin79 + Metin219 + Metin337

Metin421 = Metin230 + Metin143 + Metin190 + Metin250 + Metin308 + Metin348

Metin424 = Metin123 + Metin170 + Metin277

Metin427 = Metin287

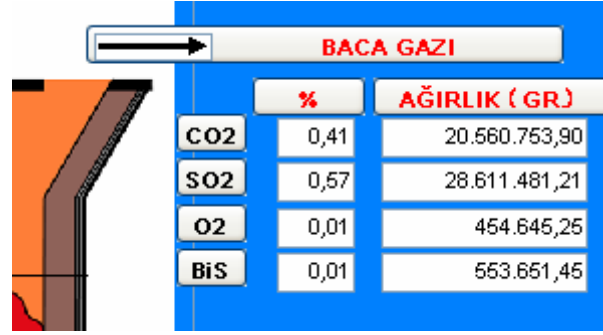
a = Metin418 + Metin421 + Metin424 + Metin427

Metin438 = Metin418 / a

Metin439 = Metin421 / a

Metin440 = Metin424 / a

Metin441 = Metin427 / a



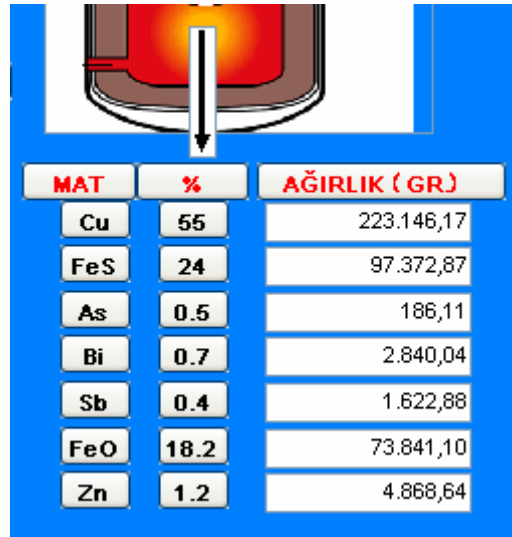
The diagram shows a cross-section of a furnace with a chimney. An arrow points from the furnace to a table titled 'BACA GAZI' (Flue Gas). The table lists the percentage and weight of various gases.

	%	AĞIRLIK (GR)
CO2	0,41	20.560.753,90
SO2	0,57	28.611.481,21
O2	0,01	454.645,25
BiS	0,01	553.651,45

Şekil 4.10 Baca gazı oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları

Mat oranının hesaplanması için açığa çıkan bakır miktarından yola çıkılır. Reaksiyon sonucu elde edilen bakır miktarı mat içine atanır. Arta kalan bileşenler ise matın geri kalan kısmını oluşturacaktır. Mat oranları ve miktarlarıyla ilgili komut düğmeleri ve metin kutuları şekil 4.11’de verilmiştir. Mat oranlarının hesaplanmasını sağlayan kodlar aşağıdaki gibidir:

```
'Mat oranlarının hesaplanması
Metin443 = Metin347
Metin445 = (Metin443 / 55) * 24
Metin447 = (Metin443 / 55) * (5 / 109)
Metin449 = (Metin443 / 55) * (7 / 10)
Metin462 = (Metin443 / 55) * (4 / 10)
Metin464 = (Metin443 / 55) * (182 / 10)
Metin466 = (Metin443 / 55) * (12 / 10)
```



The diagram shows a cross-section of a furnace with a mat. An arrow points from the mat to a table. The table lists the percentage and weight of various materials.

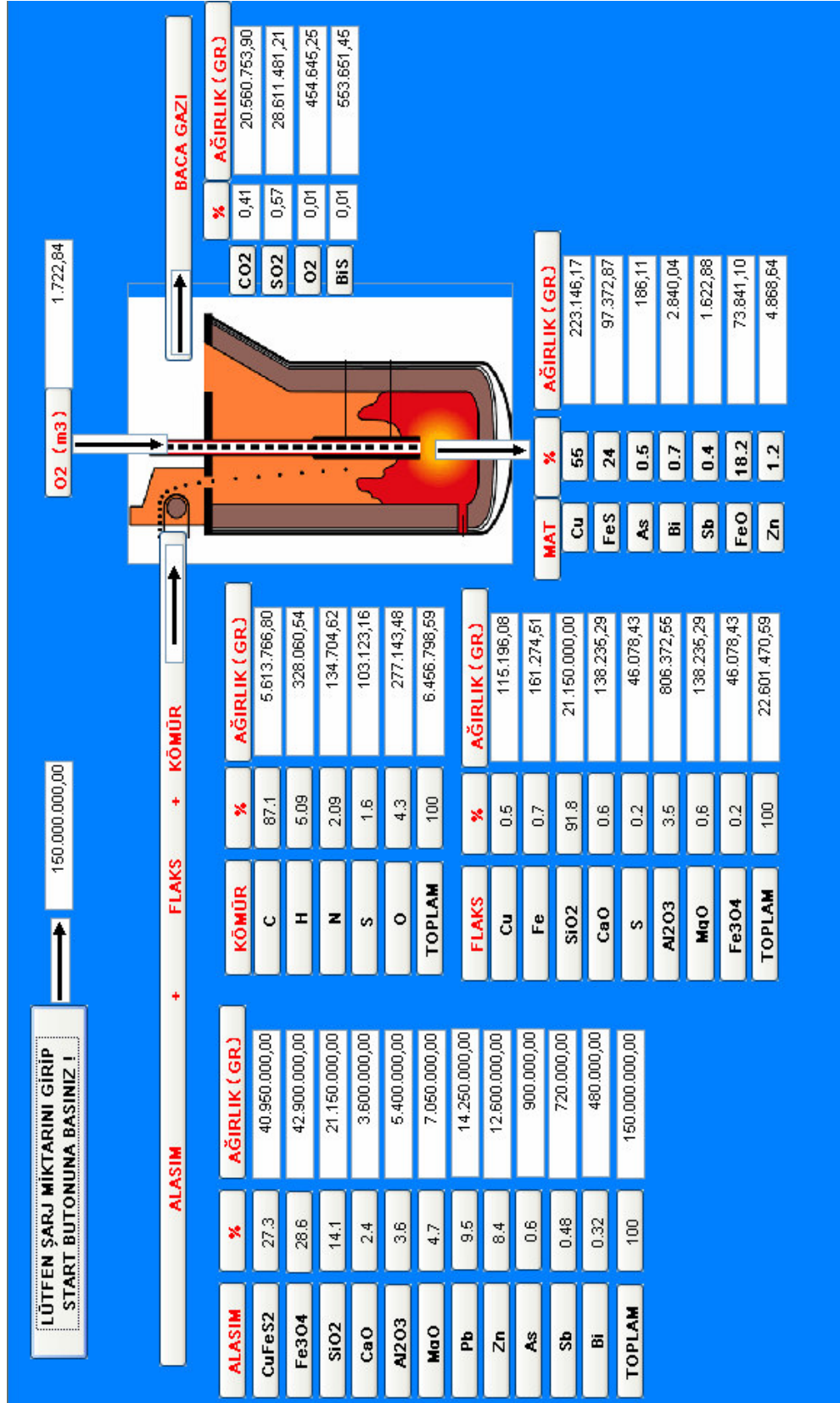
MAT	%	AĞIRLIK (GR)
Cu	55	223.146,17
FeS	24	97.372,87
As	0.5	186,11
Bi	0.7	2.840,04
Sb	0.4	1.622,88
FeO	18.2	73.841,10
Zn	1.2	4.868,64

Şekil 4.11 Mat oranlarını ve miktarlarını gösteren komut düğmeleri ve metin kutuları

Mat oranlarının ve miktarlarını hesaplattırdıktan sonra programı aşağıdaki komutla sonlandırırız:

End Sub

Artık program çalışır hale gelmiş bulunmaktadır. Bizden istenen şarj miktarını girdiğimizde program bize konsantre miktarını, kömür ve flaks oranlarını, reaksiyonda harcanacak oksijen miktarını, açığa çıkan baca gazı miktarlarını ve elde edilen mat miktarını hesaplayacaktır. Sonuç ekranı şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Sonuç ekranı

5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Önemli bir bakır üretim yöntemi olan isasmelt, bakır matı üretiminin vazgeçilemeyen, önemini yitirmeyen, geliştirme ve modernizasyonla sürekli yenilenen bir yöntemdir. Bir taraftan üretim teknolojileri geliştirilirken diğer taraftan da üretim modellemesi ve simülasyon çalışmaları üzerinde araştırmalar devam etmektedir. Programlama dillerinden BASIC'ten yararlanılarak termodinamik modellemenin yapıldığı[7] araştırmada sıcaklığın etkisi, bakırın mata etkisi, yanma havasının oksijenle zenginleştirilmesi, Fe/SiO₂ oranı, ayrıntılı olarak işlenmiştir.

Çalışma sıcaklığı 50K azaltılarak önemli bir enerji tasarrufunun elde edilebileceği ve üretim kalitesinde daha da iyi sonuçların ortaya çıkacağı gösterilmiştir. Mat, CO, CO₂, SO₂, H₂, H₂O, N₂, PbS, AsS, Bi gibi gazlar, cüruf ve Fe₃O₄ arasındaki termodinamik dengelerin sağlanması için gerekli çalışma koşulları ortaya konulmuş ve 1473 K sıcaklıktaki Fe/SiO₂=1,3 için belirlenmiştir. Oksijen miktarındaki değişim bileşimle sağlanmış ve bunun sonucu olarak da her 100 kg konsantrede 1,2 kg kömür tasarrufu sağlandığı, artan oksijen miktarı ile atık gaz hacminin azaldığı, mattaki Bi ve Pb miktarlarının azaldığı gösterilmiştir.

Kalkopiritten bakır matı elde edilirken Fe/SiO₂ oranı işletme koşullarında daha az olması beklenir ki bu daha az cürufun çıkacağını göstermektedir. Bu oranın artmasıyla akışkanlık da azalmakta ve çalışma sırasında refrakter sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Cüruf yapıcı CaCO₃ miktarının artışı hem akıcılığı, hem de ısı tüketimini artıracığından bu oranın 1,33 den fazla olmaması daha önceden yapılan modelleme çalışmaları ile ortaya konulmuştur.

Bu çalışma sayesinde reaksiyona girecek olan şarjın miktarına göre ne kadar yakıt kullanılacağını, oksitleme reaksiyonlarında kaç m³ oksijen harcanacağını, ne kadar flaks kullanmamız gerektiğini ve bunların oranları bulunacaktır. Bu hesaplama sonucunda baca gazı oranlarını ve miktarlarını ve fırından ürün olarak çıkan mat bileşimini ve miktarlarını önceden tespit edilerek teorik verilerle kolayca elde edilecektir. Üretilecek bakır miktarına göre üretim girdileri için gerekli planlama hazırlıklarının yapılması sağlanır ve tesis bu üretime göre işletilir. Ergitme için gerekli yakıt cinsi, özelliği ve bileşimi zamana göre değişeceğinden, bir taraftan satın alma verileri yapılan ölçüm ve analizlerle saptanacak, diğer taraftan da bu verilerin değişim miktarları çalışma koşullarına göre ortaya konulacaktır.

Sonuç olarak Isasmelt yöntemiyle bakır üretim yönteminin örnek olarak modellemesinden çıkan sonuçlar gerçek üretim değerleriyle karşılaştırıldığında değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu görünür. Bu modelleme sayesinde yöntemin verimliliğinin artacağı ortaya konulmuştur. Modellemenin sonuçlarından yola çıkarak fırına giren cevher bileşimi, yakıt miktarı ve hava içerisindeki oksijen oranı üretim öncesinde tespit edilerek yöntemin verimliliği arttırılacaktır.

Çalışmanın termodinamik verileri incelendiğinde programın kütle dengesi üzerine kurulduğunu görülür. Ancak bu, programdan tam olarak faydalanabilmek için yeterli değildir. Çünkü gerçekten bu programla reaksiyona giren element ve bileşiklerin ve reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin miktarları her ne kadar mol ve gram cinsinden belli olsa da bunları termodinamik olarak bir sonuca bağlanmadığı sürece güvenilir bir sonuç elde edilmesi güç olacaktır. Dolayısıyla bu programı geliştirmek için yapılması gereken yeni çalışmalar olduğunu önermek mümkündür. Öncelikle her reaksiyonun gerçekleşme koşulu işletme koşullarında temin edilmelidir. Çünkü bir reaksiyonun gerçekleşmesi için serbest enerji, entalpi ve aktivite arasındaki ilişki kurulmalıdır.

Yapılan bu programda bütün bu koşulların gerçekleştiği varsayılarak reaksiyonlar gerçekleştirmiştir. Reaksiyonların gerçekleşmesi için örneğin Çizelge 11 'de verilen reaksiyonların serbest enerji formüllerini incelediğimizde "T" değişkinine bağlı olduğunu görünür. Dolayısıyla fırın içerisinde belli bir zaman aralığındaki sıcaklık değeri formüle konulup serbest enerji değeri hesaplanıldığında eğer serbest enerji miktarı 0'a eşit olmuyorsa reaksiyon gerçekleşmeyecektir. Bu da fırın içerisindeki reaksiyonları simule ederek sağlanmaktadır. Yani fırın hiç ısıtılmadan sıcaklık o anki sıcaklığı gösterecek ve fırın ısınmaya başlayınca sıcaklık değeri kendiliğinden artmaya başlayacak ve hangi reaksiyonun oluşması için gereken oluşması için gereken şart sağlanmışsa o reaksiyon başlamış olacaktır.

Isasmelt yöntemiyle bakır üretim yönteminin örnek olarak modellemesinden çıkan sonuçlar gerçek üretim değerleriyle karşılaştırıldığında değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiş ve sonuç alınmasında kullanılabilir bir programlama gerçekleştirilmiştir. Bu bir programlama olarak değerlendirilmeyip, aynı zamanda modelleme olarak üretimin yöntem ve verimliliğini artacağı sonucu da çıkarılmıştır. Modellemenin sonuçlarından yola çıkarak işletme girdileri ve özellikle de fırına giren cevher bileşimi, yakıt miktarı ve hava içerisindeki

oksijen oranı üretim öncesinde tespit edilerek çalışma ekonomisi de sağlamak mümkün olmuştur.

Yazılım üzerinde çalışılarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için gerçek işletme verilerine ihtiyaç vardır. Cevher metalürjisi ile çalışan işletmenin Türkiye’de olmaması ve yurtdışı işletmelerinin programda veri olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiş olup, bundan sonraki çalışmalarda çalışmanın ikincil kaynaklar esas alınarak yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKLAR

- Ajima, S., Hayashi, M., Hasegawa, N., Nozaki, M., (1991), "The Distribution of Minor Elements at Naoshima, Proceedings of Co-Products and Minor Elements in Non-Ferrous Smelting",
- A.K. Biswas, W.G. Davenport, (1994), "Extractive Metallurgy of Copper, Oxford".
- Asteljoki, J., Bailey, J.K., George, D.B., Rodolff, D.W, (1985), "Flash Converting–Continuous Converting of Copper Mattes".
- A.Yazawa, (1986), " Thermodynamic Evaluation of Distribution Behaviour of Arsenic in Copper Smelting,".
- C.R.Fountain, M.D.Coulter, (1991), "Minor Element Distribution in the Copper Isasmelt Process".
- E-Barnachawy, S., Mackey, (2000), "The Noranda Process and Different Matte Grade".
- George, D.B., Gottling, R.J., Newman, C.J., (1995), "Modernization of Kennecott Utah Copper Smelter".
- H.H. Kellogg and C. Diaz, (1992), "Bath Smelting Processes in Non-Ferrous Pyrometallurgy".
- Itagaki K, " Thermodynamic Evaluation of Distribution Behaviour of VA Elements and Effect of the Use of Oxygen in Copper Smelting", Metallurgical Review of MMIJ, Vol. 3, No.3, pp.87-100.
- J.F.Davison, (2001), "Bubble Formation at an Orifice in an Inviscid Liquid".
- J.L.W. Joly, (1992), "Copper," Washington.
- Marja Riekkola,Vanhanen, (1999), "Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Copper Production and By – Production of Precious Metals", Helsinki.
- Mendoza, H., Luraschi, A.A., Riveros, G.A., Cerna, (1998), " Use of a Predictive Model for Impurity Behavior at the Chuquicamata Smelter".
- M.Nagaromi, W.J.Errington, P.J.Mackey, D.Poggi, (1994), "Thermodynamic Simulation Model of the Isasmelt Process for Copper Matte".
- Pedro Morales, C. Roberto Mac-Kay, (2002), "Upgrading of the Teniente Technology".
- Pengfu Tan, Chuanfu Zhang, (2000), "Thermodynamic modelling of copper smelting".
- P.J. Mackey, (1989) "Oxygen in Non-Ferrous Metallurgical Processes Past, Present and Future".
- Port Prie, (1989), " The Isasmelt Process for Copper Smelting".

Proceedings of the Copper 91 - Cobre 91 International Symposium : August 18-21, 1991, Ottawa, Canada; Pergamon Press, New York.

Prof. .Dr..Fuat Bor, (1989), “Ekstraktif Metalurji Prensipieri”.

R.L.Player, (1999) “Copper Isasmelt – Process Investigations”.

Saitoh, H., Hayashi, S., (1996), “ Copper Smelting and Refining at Onahama Smelter”.

Sulanto, J, (1988), “Outokumpu Flash Smelting–The efficient and Non-polluting metallurgical Process”.

Suzuki, T., Uchida, H., Mochida, H., (2000), “ Converter Dust Treatment at Naoshima Smelter”.

Tenmaya, Y., Inoue, H., Matsumoto, M., Watanabe, K, (1996) “Current Operation of Converter and Anode Furnace in Kosaka Smelter, Proceedings of Converting, Fire Refining and Casting”.

Wayne Amstorng, (1998) “The Isa Process and Its Contribution to Electrolytic Copper”.

W.J.Errington, J.S.Edwards, P.Hawkins, (2001), “Isasmelt Techonolgy – Current Status and Future Development”.

W.J.Errington, P.S.Arthur, (1999), “Isasmelt – Clean Efficient Smelting”.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	: 24.08.1979	
Doğum Yeri	: İstanbul	
Lise	: 1994-1997	Sultanahmet Anadolu Teknik Lisesi
Lisans	: 1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği
Çalıştığı Kurumlar	: 2001-2002	Özdemirler Anten ve Elektrostatik San.ve Tic. Ltd.Şti. Üretim Mühendisi
	2002-2003	Sağlam Metal A.Ş. Teknik Destek Mühendisi
	2005	Atasay Kuyumculuk Üretim Mühendisi
	2006	Megsan Metal Genel Müdür